



**MOBILITA A BIOPŘÍSTUPNOST FOSFORU
V ZÁVISLOSTI NA KYSELOSTI PŮDY**
Diplomová práce

Vedoucí práce:
doc. Ing. Petr Škarpa, Ph.D.

Vypracoval:
Bc. Jiří Tuza, DiS.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Mobilita a biopřístupnost fosforu v závislosti na kyselosti půdy vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....

podpis

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych chtěl poděkovat mému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Petru Škarpovi, Ph.D., za obětavou pomoc a odborné vedení. Dále bych chtěl poděkovat rodičům za psychickou podporu a trpělivost, Bc. Lucii Čevelové a mým spolužákům za pomoc při realizaci nádobového pokusu. Dále bych chtěl poděkovat za využití infrastruktury v budově M díky projektu OP VaVpI CZ.1.05/4.1.00/04.0135 Výukové a výzkumné kapacity pro biotechnologické obory a rozšíření infrastruktury.

Abstrakt:

Cílem této diplomové práce bylo zjistit vliv základního hnojení fosforem při rozdílných úrovních kyselosti půdy na jeho odběr rostlinami sladovnického ječmene (odrůda Sunshine) během vegetace, výnos a kvalitu zrna a obsah labilních forem fosforu v půdě. Problematika byla řešena formou přesného nádobového pokusu ve vegetační hale biotechnologického pavilonu M v areálu Mendelovi university v Brně.

Do pokusu byla zařazena hnojiva Amofos, Superfosfát a hnojiva Duofertil TOP 38 NP a Eurofertil TOP 35 NP. Hnojiva byla aplikována před setím v dávce 39 kg P₂O₅.ha⁻¹ přepočtené na velikost nádoby.

Na všech testovaných úrovních kyselosti půdy se projevilo základní hnojení fosforem zvýšením jeho odběru rostlinou ve fázi 3. pravého listu, kromě neutrální půdy i ve fázi tvorby 4. odnože. Ve fázi sloupkování (3. kolénko) se odběr fosforu rostlinami signifikantně zvýšil na variantách hnojených Eurofertilem TOP 35 NP a Duofertilem TOP 38 NP. Uváděný nárůst odběru fosforu byl důsledkem statisticky průkazného nárůstu hmotnosti rostlin přihnojených těmito hnojivy. Hnojení fosforem zvýšilo obsah vodorozpustného P v půdě stanoveného v prvním odběru v rozmezí 13,5 – 32 %. Z výsledků nádobového pokusu lze doporučit hnojivo Duofertil TOP 38 NP pro svou vyšší efektivnost ve využití fosforu zejména na půdy kyselé a alkalické.

Základní hnojení fosforem nemělo signifikantní vliv na výnos zrna ječmene na půdě kyselé a alkalické. Zvýšení výnosu bylo statisticky průkazné pouze na půdě neutrální hnojené Amofosem. Na kvalitativních parametrech zrna (obsah NL a škrobu) vypěstovaného v podmínkách půd kyselých a neutrálních se fosforečné hnojení statisticky průkazně neprojevilo. Pouze u alkalické půdy bylo zaznamenáno statisticky významné zvýšení obsahu fosforu v zrně na variantách hnojených Amofosem a Superfosfátem.

Klíčová slova: fosfor, ječmen jarní, výnos, kvalita zrna, přístupnost fosforu, přijatelnost fosforu

Abstract:

The aim of this diploma thesis was to find out the influence of basic phosphorus fertilization at different soil acidity levels on its sampling of malting barley plants (Sunshine variety) during vegetation, grain yield and quality and the content of labile forms of phosphorus in the soil. The problem was solved in the form of a precise vessel experiment in the vegetation hall of the biotechnological pavilion M in the premises of Mendel University in Brno.

The fertilizers Amofos, Superphosphate and Fertilizers Duofertil TOP 38 NP and Eurofertil TOP 35 NP were included in the experiment. The fertilizer was applied before sowing at a dose of 39 kg P₂O₅.ha⁻¹, calculated on the vessel size.

At all tested levels of acidity the soil showed basic phosphorus fertilization by increasing its take-off by the plant in phase 3 of the right leaf, except neutral soil and in the phase of formation of 4th tiller. At the stage of jointing (3rd node), the phosphorus consumption of plants significantly increased on variants fertilized by Eurofertil TOP 35 NP and Duofertil TOP 38 NP. The reported increase in phosphorus yield was the result of a statistically significant increase in the weight of the plants fertilized with these fertilizers. Phosphorus fertilization increased the water-soluble P content in the soil determined at the first sampling in the range of 13,5 – 32%. From the results of the experiment, the Duofertil TOP 38 NP fertilizer is recommended for its higher efficiency in the use of phosphorus, especially on acidic and alkaline soils.

The basic fertilized phosphorus did not have a significant effect on the yield of barley grains on acidic and alkaline soil. The increase in yield was statistically conclusive only on the land of neutral fertilized Amofos. On grain qualitative parameters (NL and starch content) grown under acidic and neutral soils, phosphorus fertilization did not statistically prove conclusively. Only in alkaline soils there was a statistically significant increase in phosphorus content in the grain on Amofos and Superphosphate fertilized variants.

Keywords: phosphorus, spring barely, yield, grain quality, accessibility of phosphorus, acceptability of phosphorus

OBSAH

1 ÚVOD	9
2 LITERÁRNÍ PŘEHLED	10
2.1 Ječmen jarní	10
2.1.1 Význam	10
2.1.2 Pěstování v ČR	11
2.1.3 Botanická charakteristika	12
2.1.4 Požadavky na půdně klimatické podmínky	13
2.1.5 Zařazení do osevního postupu	15
2.2 Fosfor	16
2.2.1 Fosfor v půdě	16
2.2.1.1 <i>Formy fosforu</i>	17
2.2.1.2 <i>Sorpce fosforu</i>	19
2.2.2 Fosfor v rostlině	22
2.2.2.1 <i>Funkce fosforu v rostlině</i>	23
2.2.2.2 <i>Nedostatek fosforu v rostlině</i>	24
2.3 Hnojení fosforem v ČR	24
2.4 Optimalizace výživy ječmene jarního	26
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	29
3.1 Cíl práce a hypotézy	29
4 MATERIÁL A METODIKA	30
4.1 Chemické rozborů půdy	37
4.2 Rozborů rostlin a zrna	37
4.3 Statistická analýza výsledků	38
5 VÝSLEDKY A DISKUSE	39
5.1 Odběr fosforu rostlinami	39
5.2 Obsah fosforu v půdě	43
5.3 Výnos zrna	46

5.4 Kvalita zrna.....	48
6 ZÁVĚR.....	50
7 DOPORUČENÍ PRO PRAXI.....	51
8 POUŽITÁ LITERATURA.....	52
9 SEZNAM TABULEK.....	59
10 SEZNAM OBRÁZKŮ.....	59
11 SEZNAM GRAFŮ.....	60

1 ÚVOD

Po dusíku je fosfor druhou nejvýznamnější živinou, na které v podstatě závisí růst a vývoj pěstovaných rostlin. Při jeho nedostatku rostlina reaguje svým defektním růstem a typickým zbarvením. V současné době v ČR klesá zásoba přístupných živin v půdách zejména fosforu čímž je limitován výnos a kvalita pěstovaných komodit. Pokles jeho půdní zásoby je důsledek nedostatečného hnojení organickými a minerálními hnojivy. K imobilizaci přístupného fosforu dochází rovněž vlivem okyselování půd, které zapříčiňuje absence vápnění.

Půdní reakce je základní chemickou vlastností půdy, která vyjadřuje kyselost půdy. Významně ovlivňuje půdotvorné procesy, přeměny organické hmoty v půdě, růst rostlin, půdní organizmy a ovlivňuje přístupnost a následně přijatelnost fosforu a ostatních biogenních prvků pro rostliny a celkovou rentabilitu rostlinné produkce.

Ječmen je po pšenici nejpěstovanější obilninou u nás. Do nedávna přesahovaly plochy oseté ječmenem 350 000 ha. Aktuálně se jeho jarní forma pěstuje na ploše okolo 250 000 ha. Vyžaduje dobré fyzikální a chemické vlastnosti půdy, hlavně optimální hladinu pH. Jeho význam je především ve výrobě sladu a následně piva, kde musí splňovat řadu kvalitativních parametrů.

Práce zaměřená na zjištění vlivu fosforu na výnos a kvalitu ječmene jarního při rozdílné půdní kyselosti byla realizována formou přesného nádobového pokusu ve vegetační hale biotechnologického pavilonu M Ústavu agrochemie, půdoznalství, mikrobiologie a výživy rostlin, AF, MENDELU.

2 LITERÁRNÍ PŘEHLED

2.1 Ječmen jarní

Ječmen jarní původem z Přední Asie (ječmen dvouřadý) a z východní Asie (ječmen víceřadý) byl zkulturněn asi před osmi tisíci lety. Na české území se šířil už s Kelty, využíval se na pečení chleba a vaření piva. Spolu s prosem a nahými pšenicemi byl ječmen již v devátém století pro Čechy nejvýznamnější plodinou (Černý et al., 2007).



Obr. 1 Ječmen jarní (*Hordeum vulgare*) (Warrick, 2011)

2.1.1 Význam

Po pšenici přináší ječmen do české rostlinné výroby nejvyšší hrubé tržby z hektaru. Z ekonomického hlediska, kde se spojují jeho vysoké ceny a poměrně nízké náklady, je po bramborách a cukrovce plodinou s nejvyšší rentabilitou (Černý et al., 2007).

Původně byl ječmen využíván pouze pro lidskou potřebu, ale v dnešní době se nejvíce využívá jako krmivo pro hospodářská zvířata (55 – 60 %). K lidské spotřebě se zpracuje jen 2 – 3 % ječmene. Druhým nejvýznamnějším využitím ječmene je jeho zpracování k výrobě sladu, ze kterého se následně vaří alkoholické nápoje. Na světě je pěstováno 30 – 40 % sladovnického ječmene.

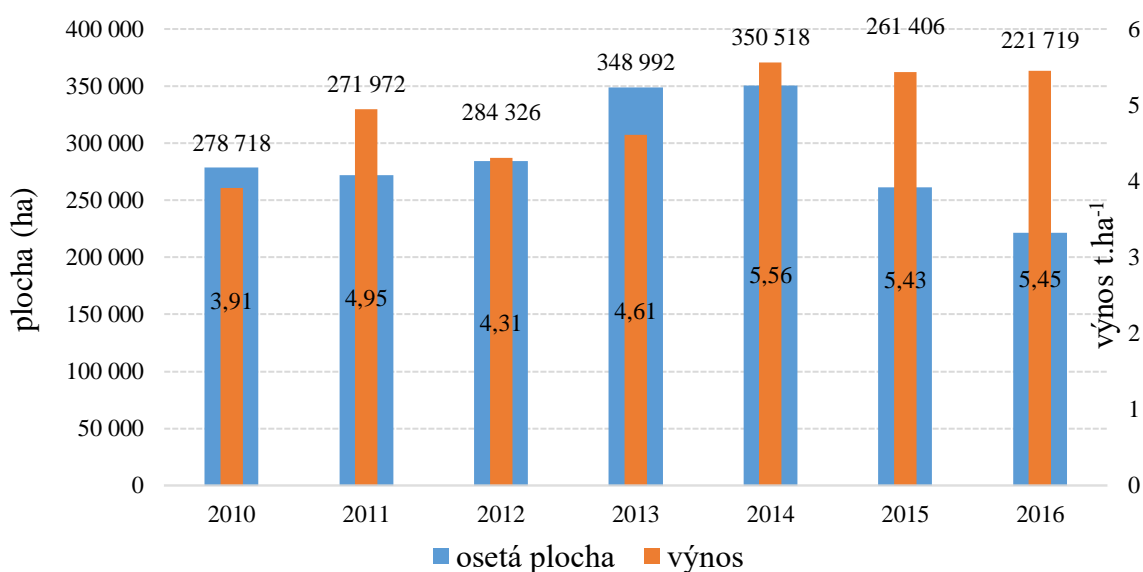
Malá část vypěstovaného ječmene se dále využívá průmyslově především na výrobu ethanolu a škrobu. Ječmen pícninářský se používá jako krycí plodina při výsevu víceletých pícnin (Hůla et al., 2008).

2.1.2 Pěstování v ČR

Dříve se u nás pěstovala pouze jarní forma sladovnického ječmene, ale po vyšlechtění do zimovzdornosti se začal pěstovat i ječmen ozimý a to zejména ke krmným účelům. V ČR je každým rokem vypěstováno kolem 1,9 mil. tun ječmene, jehož větší část je vyvezena do zahraničí (Rakousko, Slovensko, Maďarsko, Polsko). V roce 2015 bylo v tuzemsku vypěstováno 367,3 tis. tun sladovnického ječmene, ze kterého bylo 344,1 tis. tun vyvezeno (Kůst, Potměšilová, 2016).

V roce 2015 bylo podle českého statistického úřadu v ČR vyseto 261 406 ha ječmene jarního. V roce 2016 bylo oseto 221 719 ha, což je o 39 687 ha méně, než v roce minulém (ČSU, 2017).

Graf 1 Výnos a osetá plocha ječmenem jarním 2010 – 2016 (ČSU, 2017)



2.1.3 Botanická charakteristika

Do druhu *Hordeum vulgare L.*, (ječmen setý) patří všechny odrůdy ječmene. Ječmen lze rozdělit několika způsoby – podle doby setí na jarní a ozimou formu, podle klasu na víceřadý a dvouřadý.

V botanické systematice je ječmen setý (*Hordeum vulgare L.*) dělen na konvariety:

– Ječmen setý, víceřadý

U něj rozlišujeme 2 typy, čtyřřadý a šestiřadý. V ČR je pěstován v ozimé formě, ale ve světě je uplatňována i jeho jarní forma.

– Ječmen setý, přechodný

Je pěstován např. ve východní Asii, Skandinávii atd.

– Ječmen setý, dvouřadý

Se vyskytuje v mnoha varietách, ze kterých je nejdůležitější:

- *nutans* (háčkující) – tvoří 50 až 130 mm dlouhý klas se souběžně přiléhajícími osiny a v době zralosti se ohýbá, tzv. háčkuje. Sem patří většina sladovnických odrůd.
- *erectum* (vzpřímený) – klas je hrubší, kratší a do plné zralosti vzpřímený.
- *zeocrithon* – syn. *breve* (ječmen paví) – hustý, krátký klas, obilky odstávají od vřetene a osiny vějířovitě odstávají.
- *nudum* (nahý) – obilka nesrůstá s pluchami, má nízký obsah vlákniny a vysokou krmnou hodnotu.

– Ječmen setý, labilní, různotvarý

Na člancích klasového vřeténka netvoří stejný počet klásků. To je důkazem historického ovlivňování počtu řad klasu různými klimatickými podmínkami (Zimolka, 2006).



Obr. 2, Obr. 3 Zleva klas ječmene dvouřadého, zprava klas ječmene víceřadého (Katedra rostlinné výroby, 2017)

Ječmen se opyluje v uzavřených kvítcích, ve kterých dochází k silnému samosprášení (hlavně u dvouřadých forem). U víceřadých forem ječmene častěji dochází k cizosprášení, protože u nich nejprve kvete střední kvítek a pak postranní mající větší tendenci k otevřenému kvetení (Řepková, Relichová, 2001).

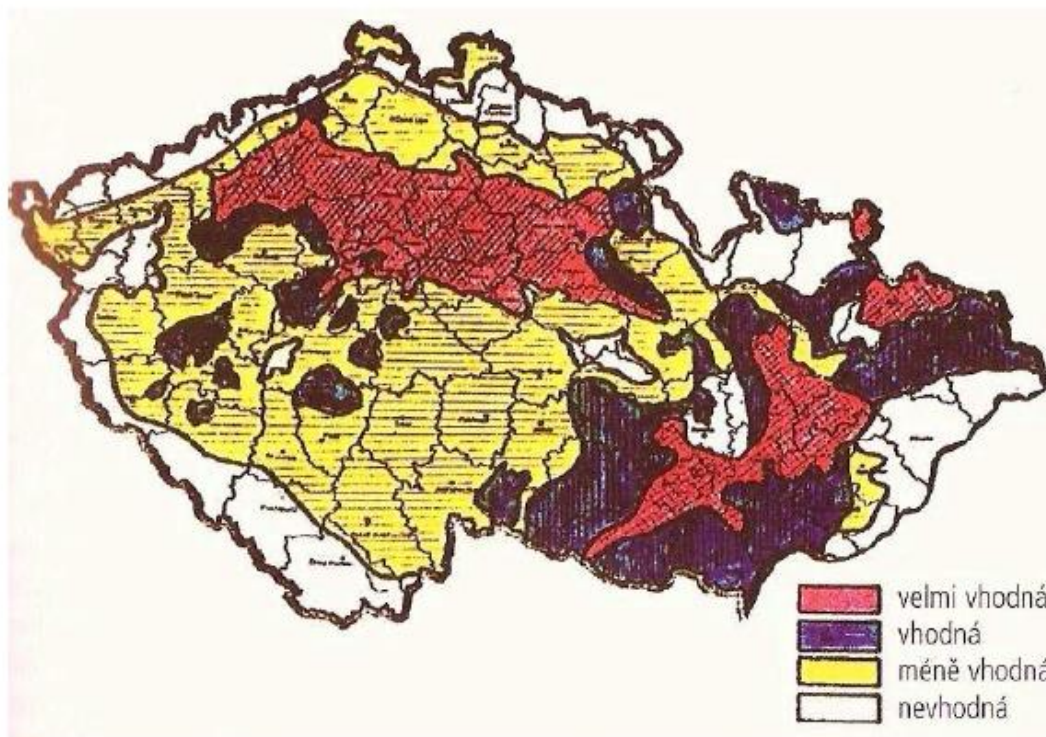
2.1.4 Požadavky na půdně klimatické podmínky

Ječmen se pěstuje napříč všemi klimatickými oblastmi i v suchých oblastech severní Afriky a Asie. V ČR se pěstuje v řepařské, kukuřičné, bramborářské a obilnářské výrobní oblasti. V poslední době se stává pro ječmen limitujícím prvkem nedostatek srážek, a proto se ječmeni daří v oblastech okolo 400 až 500 m. n. m., kde se na porostu neprojeví sucho tak razantně (Černý et al., 2007). Rovněž Hadjichristodoulou (1982) uvádí jako hlavní faktor ovlivňující výnos ječmene právě rozložení srážek během roku.

Řepařská výrobní oblast je pro svou předplodinovou hodnotu po cukrové řepě nejvhodnější pro pěstování ječmene. Kvůli nižšímu úhrnu srážek je v sušších oblastech větší riziko horší kvality. V bramborářské výrobní oblasti se pěstuje také, ale je tam spíše využíván ke krmným účelům z důvodu nedostatečné kvality (Zimolka, 2006).

Dříve se ječmen pěstoval v oblastech s dobrou půdní strukturou a dostatkem vody např. (střední a dolní Polabí, Plzeňsko, Haná), ale v současnosti se dosahuje dobrých výnosů a kvality zrna i na Vysočině okolo 500 m. n. m. Je to způsobeno lehkými půdami (lepší

odnožování a vzcházení) a přispívá k tomu i oteplování (Černý et al., 2007). Pro každou pěstitelskou oblast se musí zvolit vhodná odrůda adaptovaná k daným klimatickým a půdním podmínkám.



Obr. 4 Oblasti v ČR vhodné k pěstování sladovnického Ječmene jarního (Zimolka, 2006)

Nejvhodnějšími půdními typy a druhy jsou hlubší černozemě a hnědozemě s dostatkem jílu. Naopak lehké půdy nedávají tak velké výnosy zrna a je zde vyšší riziko zvýšeného obsahu dusíkatých látek v zrna kvůli podeschnutí a neuplatnění zředovacího efektu (ukládání dusíku do zrna) (Černý et al., 2007).

Dále je pro ječmen třeba zajistit optimální termín výsevu, který je jedním z rozhodujících faktorů dosažení vysokých výnosů. Pokud následuje po zasetí delší chladné období, tím bývá klíčení osiva neúměrně dlouhé a pomalé, což má často za následek nevyrovnané porosty. Při setí do vlhké půdy je nebezpečí omezeného klíčení a vzcházení a jde o tzv. „zamazání osiva ječmene“ (Hrubý et al., 2006).



Obr. 5 Založení ječmene na utužené půdě (Bednar farm machinery, 2017)



Obr. 6 Založení ječmene na neutužené půdě (Bednar farm machinery, 2017)

2.1.5 Zařazení do osevního postupu

U jarního ječmene předplodina významně ovlivňuje sladovnickou hodnotu a výnos zrna. V osevním postupu se často zařazuje po organicky hnojených okopaninách (brambory a cukrová řepa), nebo jako druhá obilnina (Zhor, 2015).

Pouze v suchých oblastech zejména v kukuřičné výrobní oblasti, je po cukrové řepě, která je náročná na vodu dosahována nižší výnosová stabilita. Pro jarní ječmen je kukuřice předplodinou poměrně dobré kvality, v suchých letech jsou výnosy po kukuřici stabilnější než po cukrovce. Ostatní širokolisté plodiny (např. luskoviny, víceleté pícniny) méně často, protože nezajišťují dosažení optimálních sladovnických parametrů jarního ječmene a využívají se především jako předplodiny pro ozimou pšenici (Procházková, 2011).

Opakovaným pěstováním ječmene na jednom pozemku dochází k tzv. decline efektu, to znamená ke změně mikroflóry. Pokles výnosů zmírňuje organické hnojení. Právě ječmen jarní toleruje na nejlepších stanovištích kratší intervaly pěstování monokultur (Černý et al., 2007).

Často v osevních postupech následuje ječmen pšenici než naopak. Pěstování jarního ječmene po obilnině nemá výraznější vliv na výnos. Přesto je obilnina jako předplodina jarního ječmene méně vhodná, z důvodu častého zvyšování obsahu dusíkatých látek v zrnu. Po sklizni a zapravení slámy je tak nezbytné upravit poměr C:N vyrovnávací dávkou dusíku pro její rychlejší rozklad. Jestliže se dusík na podporu mineralizace neaplikuje, rozklad slámy probíhá velmi pomalu a potřebný dusík pro rozkladné procesy je odčerpán z půdy a může chybět rostlinám. Pro sladovnickou jakost ječmene je uvolňování dusíku v pozdější fázi růstu nežádoucí (Zimolka, 2006).

2.2 Fosfor

Jedním ze základních makrobiogenních prvků je fosfor, který je nezbytný pro všechny metabolické procesy a je také jedním z rozhodujících faktorů tvorby výnosu (Mikanová, Šimon, 2011).

Sanchez (2007) uvádí, že patří mezi esenciální živiny nezbytné pro růst a vývoj rostlin. Důsledkem značné pohyblivosti fosforu v rostlině může docházet i k jeho zpětnému přechodu do půdního roztoku představující někdy až šestinu přijatého množství (Prokeš, 2008).

Fosfor se v půdě pohybuje relativně pomalu. Jeho migrace představuje vzdálenost 0,2 – 0,3 m od místa zapravení hnojiva do půdy (Benko, 1961).

2.2.1 Fosfor v půdě

Podle Fecenka a Ložeka (2000) zemská kůra obsahuje průměrně 0,12 % fosforu. Vaněk et al., (2007) uvádí, že se celkový obsah fosforu v půdě pohybuje v rozmezí 0,01 – 0,15 %, také že půdy s vyšším obsahem organické hmoty obsahují více fosforu než půdy lehké. Podobně Rychnovská et al., (1985) uvádějí, že celkový obsah fosforu se v půdě může pohybovat od 100 – 1200 ppm.

V půdě je celkový obsah fosforu obvykle nižší než totální obsah dusíku a draslíku. V průměru tvoří jednu desetinu až jednu čtvrtinu obsahu dusíku a kolem jedné dvacetiny obsahu draslíku (Brady, 1990).

Fosfor se v přírodě vždy vyskytuje ve svém nejvyšším oxidačním stupni jako aniont kyseliny ortofosforečné. Většina minerálů obsahujících fosfor se vyskytuje jako apatit (Šimek, 2003). Ve všech magmatických horninách se tento minerál vyskytuje v různých formách, především jako fluór-, chlór- a hydroxylapatit (Johnes, Hodgkinson, 1998).

V menší míře se v půdách vyskytuje ve formě primárních minerálů zastoupených fosforečnany železa s příměsí Mn – tripity nebo vodnými fosforečnany hliníku – wawelity. V málo provzdušněných, zamokřených půdách se také může vyskytovat fosforečnan železnatý – vivianit (Richter, Hlušek, 1999).

Obsah fosforu v půdě je závislý na půdním druhu, půdním typu, obsahu organických látek a půdotvorného substrátu. Obecně platí, že černozemě a hlinité fluvizemě jsou lépe zásobeny touto živinou, než fluvizemě a černice. Také zpracování půdy má v neposlední řadě vliv na obsah fosforu. Na zpracovávaných půdách se v důsledku intenzivnější mineralizace organických sloučenin obsah přijatého fosforu zvyšuje, zatímco množství celkového fosforu klesá (Fecenko, Ložek, 2000).

Fosfor se obvykle v půdním profilu soustřeďuje u povrchu půdy. Na neobdělávaných půdách se jedná o cyklování přes vegetaci a jeho mineralizaci na povrchu půdy, u obdělávaných půd je zdrojem i aplikace hnojiv (Richardson et al., 2004). Podle Holforda (1997) uvolňuje fosfor do vodorozpustné formy mikrobiální činnost, která ho může i imobilizovat.

2.2.1.1 Formy fosforu

Hansen et al. (2004) uvádí, že se fosfor v půdě vyskytuje v organické a minerální formě. Obě formy prodělávají v půdě postupnou přeměnu. Na celkovém obsahu fosforu se podílejí rozdílně. Záleží na mnoha faktorech, jako jsou půdní druh, typ, obsah organických látek atd. Organický fosfor se na celkovém obsahu podílí 20 – 75 %. (Fecenko, Ložek, 2000). Podle Harrisona (1987) představuje minerální forma 35 – 75 % celkového obsahu fosforu v půdě.

Organický fosfor

Nedílnou součástí půdní organické hmoty je organický fosfor, kde je součástí primární organické hmoty, humusových látek a půdním edafonu. Podle Vaňka (2007) představuje organicky vázaný fosfor asi 30 – 50 % celkového obsahu fosforu v půdě, Rychnovská et al. (1985) prezentuje ve své práci podíl fosforu obsaženého ve stabilní organické frakci v rozmezí 10 – 90 % z jeho celkové půdní zásoby, jehož množství je závislé na typu půdy. Prasad a Power (1997) uvádí rozmezí 20 – 80 %, což představuje množství od několika miligramů až po 0,5 g.kg⁻¹. Jeho obsah dále závisí na řadě faktorů např. srážky, hnojení atd. Mnoho těchto faktorů je na sobě závislých (Harrison, 1987).

Organický fosfor se nachází v řadě organických sloučenin, z nichž nejčastěji ve fytinu, nukleových kyselinách, nukleoproteidech, fosforylovaných dusíkatých sloučeninách, fosforylovaných sacharidech jako triózy, pentózy, hexózy a fosfolipidech. Richardson (1994) uvádí, že hlavní složkou organického fosforu v půdě je kyselina fytová (inositol hexafosfát). V kyselých půdách nejčastěji nalézáme fytáty železa a hliníku, v neutrálním a alkalickém prostředí fytáty vápníku, hořčíku, sodíku a draslíku. Fytin je jen málo reaktivní, v půdě není příliš pohyblivý a je považován za potencionální zdroj fosforu pro rostliny. Ostatní organické sloučeniny jako nukleové kyseliny, nukleoproteidy a fosfolipidy se v půdě nachází v mnohem menší míře než fytin (Fecenko, Ložek, 2000).

Organicky vázaný fosfor se uvolňuje prostřednictvím mineralizačních procesů do minerální, pro rostliny přijatelné formy pomocí půdních organismů, kořeny rostlin ve spojení se sekrecí fosfatázy, je důležitým zdrojem fosforu pro rostlinu (Ai et al., 2009).

Minerální

Minerální fosfor se dělí do dvou základních forem. Jako první jsou primární minerály – apatity. Jsou to sloučeniny, které se skládají ze tří molekul Ca₃(PO₄)₂, na které se váže molekula chloridu, fluoridu nebo hydroxidu vápenatého. Jejich název např. chlorapatit nebo fluorapatit se odvozuje podle jejich navázaných sloučenin (Vaněk et al., 2007).

Druhou formu tvoří sekundární fosforečnany. Jejich tvorba je závislá především na pH půdního prostředí. V půdách se nejčastěji vyskytují ve formě vápenatých solí. Ty jsou typické zvláště pro půdy slabě kyselé až alkalické. Tyto sloučeniny vznikají v půdách chemickou sorpcí z původně rozpustných sloučenin: Ca(H₂PO₄)₂, CaHPO₄. Tyto reakce mohou vést až ke vzniku apatitů (především hydroxylapatit). Nejtypičtější pro půdy

neutrální jsou stabilnější sloučeniny mezi, které patří oktokalcium fosfát, složeného z fosforečnanu vápenatého a hydrogenfosforečnanu vápenatého. $(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{CaHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O})$. V kyselých půdách, kde se více vyskytují železité a hlinité ionty v půdním roztoku a také zvýšená rozpustnost, se zase nejčastěji objevuje strengit $\text{Fe}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$ a variscit $\text{Al}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$ (Vaněk et al., 2007).

Fecenko a Ložek (2000) dělí minerální fosfor do níže uvedených frakcí:

- I. vápenaté a hořečnaté fosforečnany rozpustné ve vodě a slabých organických kyselinách,
- II. Ca – fosforečnany,
- III. Fe – fosforečnany,
- IV. Al – fosforečnany,
- V. Fosfor v apatitech.

První frakce anorganického fosforu je tvořena dihydrogenfosforečnanem vápenatým $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ a hořečnatým $\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)$ a hydrogenfosforečnanem vápenatým CaHPO_4 a hořečnatým MgHPO_4 . Dihydrogenfosforečnan hořečnatý a vápenatý jsou ve vodě dobře rozpustné a představují přijatelnou formu fosforu pro rostliny. Hydrogenfosforečnan hořečnatý a vápenatý jsou ve vodě částečně rozpustné, jejich rozpustnost se zvyšuje slabými organickými kyselinami přítomnými v půdním roztoku. Při jejich disociaci na dvojmocné anionty (HPO_4^{2-}) se jejich přijatelnost rostlinami zvyšuje.

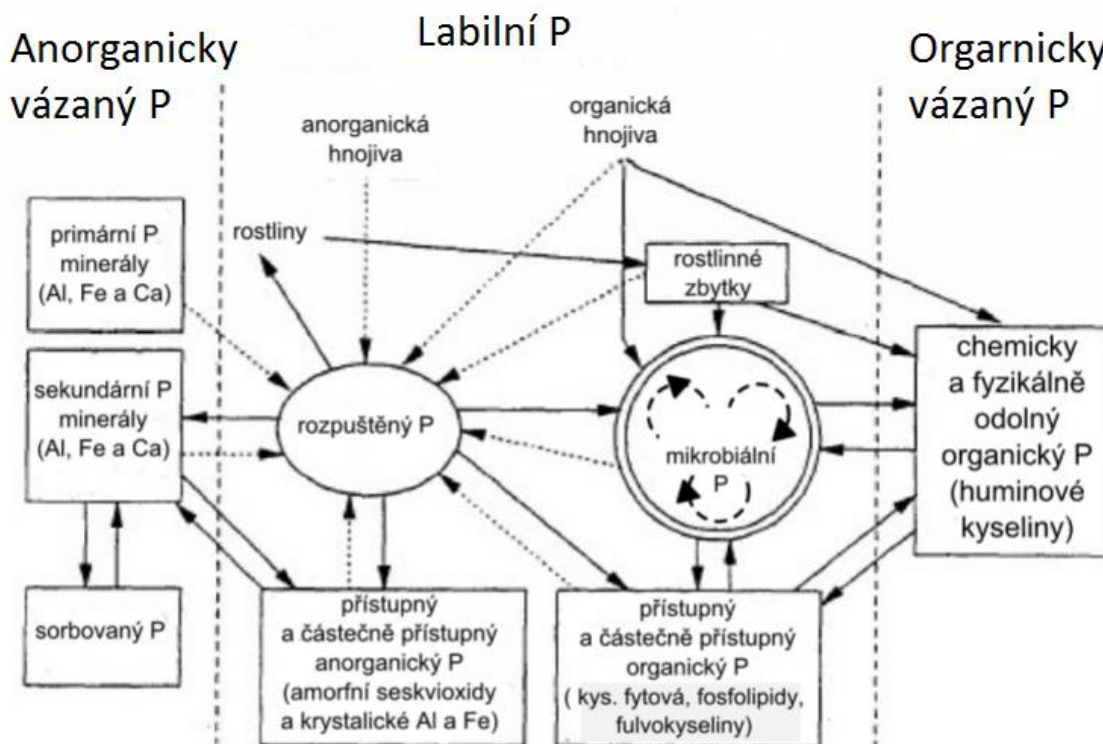
Pro druhou frakci jsou typické fosforečnan hořečnatý $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ a vápenatý $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Tyto sloučeniny jsou málo rozpustné ve vodě, tedy méně přijatelné pro rostliny. Fosforečnan železitý FePO_4 a fosforečnan hlinitý AlPO_4 tvoří třetí a čtvrtou frakci anorganického fosforu, jejichž přijatelnost je velmi omezená. Jestliže dojde k jejich krystalizaci, vznikají minerály variscit a strengit, které jsou pro rostliny de facto nepřijatelné.

Pátá frakce je tvořena fosforem v apatitech jako je např. fluorapatit, sulfátapatit, karbonátapatit, hydroxylapatit, nebo oktokalciumfosfát. Jejich zvětráváním dochází k postupnému ovolňování fixovaných fosforečných aniontů, což poskytuje zdroj fosforu pro rostliny (Fecenko, Ložek, 2000).

2.2.1.2 Sorpce fosforu

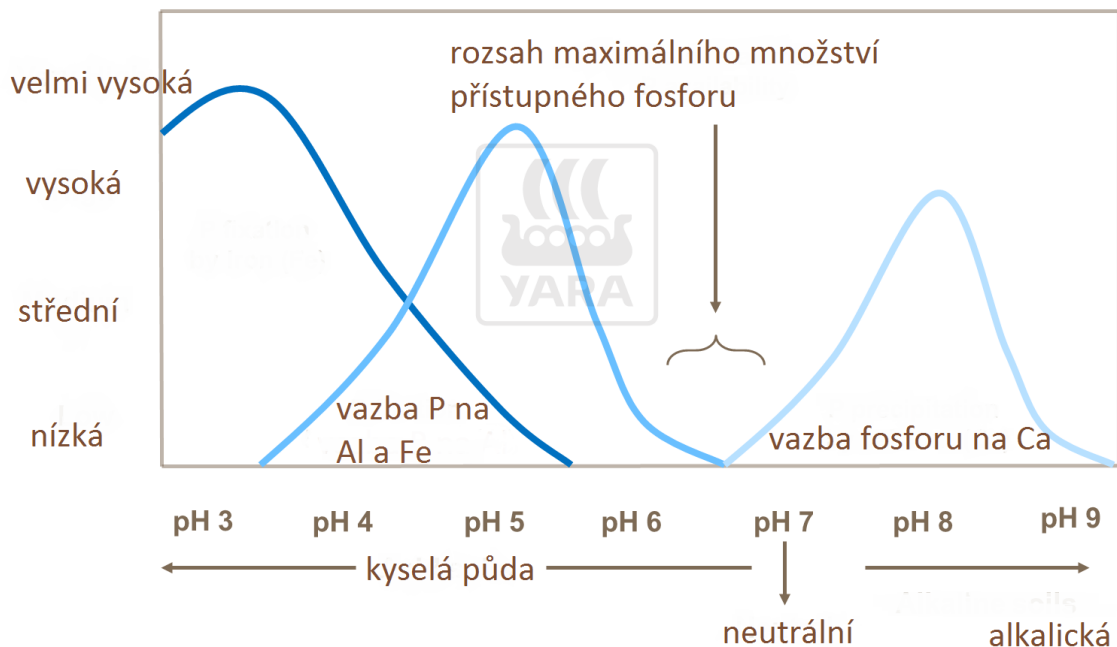
Jak je schematicky zobrazeno na obr.7, podléhá fosfor v půdě přeměnám ovlivňující jeho přijatelnost. Z těchto dějů je především dominantní sorpce, desorpce a srážení,

rozpuštění fosforečnanů. Významná je rovněž mineralizace organicky vázaného fosforu, nebo jeho imobilizace půdní biomasou. Mezi fixační procesy snižující jeho přijatelnou zásobu v půdě náleží především srážení fosforu s ionty Fe^{3+} , Al^{3+} a Mn^{3+} v kyselých půdách a srážení s CaCO_3 v půdách alkalických (Brady, Weil, 2002).



Obr. 7 Půdní cyklus fosforu rozdělený podle jednotlivých přeměn (Steward, Shapley, 1987)

množství fosforu fixovaného v půdě



Obr. 8 Vliv půdního pH na míru retence P v Fe, Al a Ca fosforečnanech (Yara, 2017)

Téměř výlučně se nevázaný fosfor v přírodě vyskytuje ve formě disociované kyseliny fosforečné H_3PO_4 , hodnota půdní kyselosti je hlavní faktor určující přijatelnost fosforu. Schopnost částic vázat fosfor z roztoku je možné charakterizovat tzv. fosforečnanovou sorpční kapacitou. Sorpční kapacita může být chápána jako celkový počet míst (na částicích), které se mohou vázat s fosforem. Tato vazebná místa jsou charakterizována především nerozpustnými oxidy hliníku, železa a manganu nacházející se např. na povrchu jílových částic (Brady, Weil, 2002).

Mezi hlavní procesy fixace patří:

- chemická sorpce* – srážení fosfátových iontů z půdního roztoku dvojmocnými kationty za vzniku méně rozpustných sekundárních anorganických fosfátů; u trojmocných kationtů mohou vznikat těžce rozpustné fosfáty
- fyzikálně chemická neboli výměnná adsorpce* – poutání fosfátových iontů na povrchu jílových a koloidních částic
- biologická sorpce* – imobilizace fosforu životní činností mikroorganismů (Richter, Hlušek, 1999).

Každý z uvedených principů vazby představuje snížení biologické dostupnosti fosforu. Zatímco adsorpce H_2PO_4^- je vratná, další chemisorpcí se dostupnost fosforu razantně snižuje (Brady, Weil, 2002).

Sorpční proces se po kinetické stránce dělí na dva kroky. 1. vratná adsorpce fosforečnanů na povrchy částic (minuty až hodiny) a 2. pomalá difúze tohoto adsorbovaného fosforu do vnitřních struktur částic (dny a měsíce). Sorpční proces náleží do tzv. fosforečnanového pufracího mechanismu, který popisuje schopnost částic vyrovnávat změny koncentrace fosforu v roztoku. Jestliže se koncentrace fosforu v roztoku sníží, nebo zvýší, účinkem adsorpce nebo desorpce fosforu na půdní částice se jeho vodorozpustné množství po určité době ustálí (ECP – equilibrium phosphate concentration) (Froelich, 1988).

V půdě nehrají roli jen chemické a fyzikální děje, ale probíhá tam i biologická mobilizace fosforu. U minerálně nehnojených půd je hlavním zdrojem fosforu pro rostliny fosfor uvolněný mineralizací organických sloučenin (Sharpley, 1995).

2.2.2 Fosfor v rostlině

Fosfor je rostlinou přijímán hlavně jako dihydrogenfosforečnanový aniont H_2PO_4^- . Ve formě komplexních aniontů jsou mimo fosforu přijímány další dva prvky, a to dusík (NO_3^-) a síra (SO_4^{2-}). Na rozdíl od těchto dvou živin fosfor nepodléhá v metabolismu rostliny změnám, redukcím jeho oxidačního stupně mocenství (Matula, 1977).

Příjem fosfátu je závislý na pH prostředí. Hlavním místem jeho příjmu je pletivo kůry kořenu, přes které se pohybuje rychlostí $0,1 - 0,5 \text{ mm.hod}^{-1}$. V případě jeho nedostatku v kořeni je přijímán difuzí do apoplastu. Po naplnění apoplastů a překročení rovnovážného stavu probíhá jeho transport aktivně. Transport fosforu přes membrány doprovází vytěsňování protonu. Transport fosfátu v rostlině je spjat s metabolismem a je přímo podmíněn možností jeho cyklické reutilizace. Bylo prokázáno, že se fosfát pohybuje v xylémovém (dřevním) vzestupném proudu převážně ve formě cukerných fosfátů. Floémový (lýkový) transport fosfátu je zase výlučně vázán na jeho organickou formu (ATP, cukerné fosfáty). Minerální fosfor tedy prochází celým metabolickým procesem, než se objeví ve vodivých pletivech (Richter, Hlušek, 1999).

Rostliny potřebují značné množství fosforu již v počátečních fázích růstu. Potřebný fosfor pro klíčení získávají z fyтину obsaženém v semeni a následně při tvorbě primárního kořene, další z lehce přístupných forem fosforečných sloučenin z vnějšího prostředí. V této fázi růstu kořenový systém není ještě plně rozvinut, a proto má velký vliv hladina přijatelného fosforu v blízkosti primárních kořenů (Purves et al., 2004).

Příjem fosforu také významně ovlivňuje teplota půdy, je-li chladné jaro, je příjem fosforu nízkými teplotami limitován. Rostlina přijímá fosfor od 10 °C (Klem, 2011).

Fosfor je naprosto nezbytný pro růst a funkce buněk všech organismů, je složkou mnoha důležitých biomolekul včetně adenosintrifosfátu (ATP) a adenosindifosfátu (ADP), ribonukleových (RNA) a deoxyribonukleových (DNA) kyselin (Šimek, 2003).

2.2.2.1 Funkce fosforu v rostlině

Fosfor v rostlině má základní funkci v jejím energetickém metabolismu. Hraje důležitou roli při fosforylačních reakcích fotosyntézy (Broadley, et al., 2012). Ortofosforečnanový aniont v důsledku své vysoké afinity k elektronům odčerpává jejich energii, která se ukládá v makroergických vazbách sloučenin typu ATP (adenosintrifosfát). Fosfor má vedle energetické i funkci stavební. Vytváří snadno esterické vazby s cukry, které jsou základem převážné většiny sloučenin fosforu (Matula, 1977).

Kromě energetické funkce má fosfor v rostlině význam stavební. Kyselina fosforečná v živých systémech snadno reaguje s organickými látkami za vzniku organofosfátů. Mezi ty významné řadíme nukleotidy, které jsou stavební jednotkou nukleových kyselin, aktivují meziprodukty v řadě biosyntéz, (např. aminokyseliny v procesu syntézy bílkovin, glukózu v procesu polyglukóz apod.), jsou přenašeči energie v biologických systémech (např. nukleosidpolyfosfáty jako ATP, ADP, aj.), jsou součástí důležitých kofaktorů enzymů (adeninové nukleotidy).

Rostliny přijímají fosfor po celou vegetační dobu poměrně rovnoměrně, pro dobrý výnos a kvalitu produkce je však rozhodující jeho obsah v rostlinách na počátku vegetace a později při tvorbě generativních orgánů. Jednotlivé druhy rostlin mají nároky na fosfor přibližně stejné. Značné rozdíly jsou však ve schopnostech rostlin si fosfor z půdy osvojovat i z méně rozpustných sloučenin. Nejmenší osvojovací schopnost mají obilniny (Klement et al., 2012).

2.2.2.2 Nedostatek fosforu v rostlině

Symptomy nedostatku jsou za normálních podmínek nenápadné. Vážným příznakem je tmavé zabarvení listů (hyperchlorofylace), které je provázeno často červeným, nebo fialovým zabarvením způsobeným obohacením listů anthokyany (Halavatau et al., 1996).

Jak je vidět na obr. 9, u jednoděložných rostlin se deficiencie projevuje špatným odnožováním, stébla jsou krátká a slabě vyvinutá. Listy jsou vzpřímené, tmavozelené a přechází do červenofialové barvy. U dvouděložných jsou listy dlouhé řapíkaté se silně vystouplou nervaturou a ztrnulou polohou listů. Někdy vznikají červené, nebo purpurové pigmenty a později nekrózy označované jako "bronzing" (Richter, Hlušek, 1999).

Freeden et al., (1989) uvádí, že u rostlin, které trpí nedostatkem fosforu se deficit nejvýznamněji projeví na listech, které zastaví vývin nových listů a růst plochy starých. Dále podle Dobermanna a Fairhursta (2000) jsou jednoděložné rostliny zakrslé, neodnožují a stonky jsou tenké a retardované. Starší listy jsou zahnědlé a odumírají.



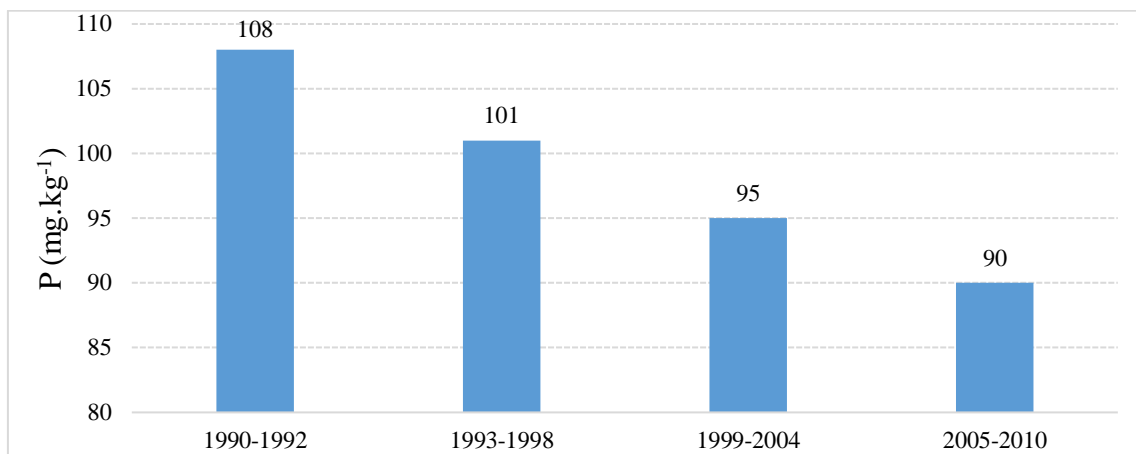
Obr. 9 Symptomy nedostatku fosforu u ječmene (Yara, 2017)

2.3 Hnojení fosforem v ČR

Podle Smatanové a Sušila (2016) je průměrná zásoba přístupného fosforu v zemědělské půdě ČR 88 mg.kg^{-1} . Zemědělská půda s nízkou zásobou fosforu, která potřebuje intenzivní hnojení, představuje více jak 25,6 % výměry ČR. Vyhovující zásoba, která je rovněž nedostatečná pro optimální výživu rostlin a vyžaduje též dosycení fosforem, zahrnuje dalších 27,8 % výměry. Hnojit by tedy potřebovala více než polovina výměry zemědělské půdy ČR,

což představuje téměř 1 900 000 hektarů. Vysoká a velmi vysoká zásoba přístupného fosforu byla zjištěna na 24,1 % výměry ČR. Půdní zásoba přístupného fosforu dlouhodobě mírně klesá, jak prezentuje graf 2.

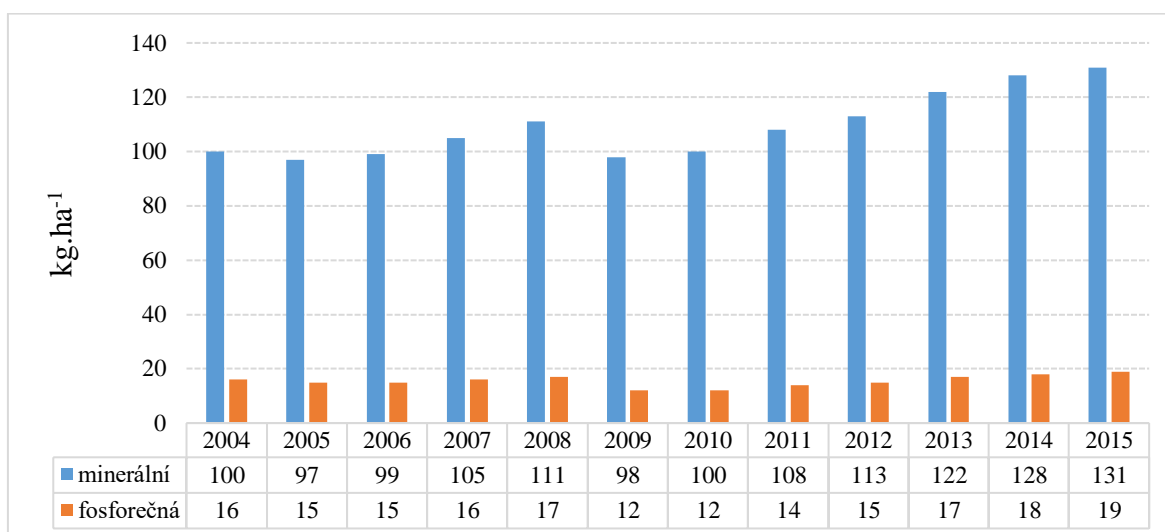
Graf 2 Vývoj obsahu fosforu v období 1990 – 2010 (Klement et al., 2012)



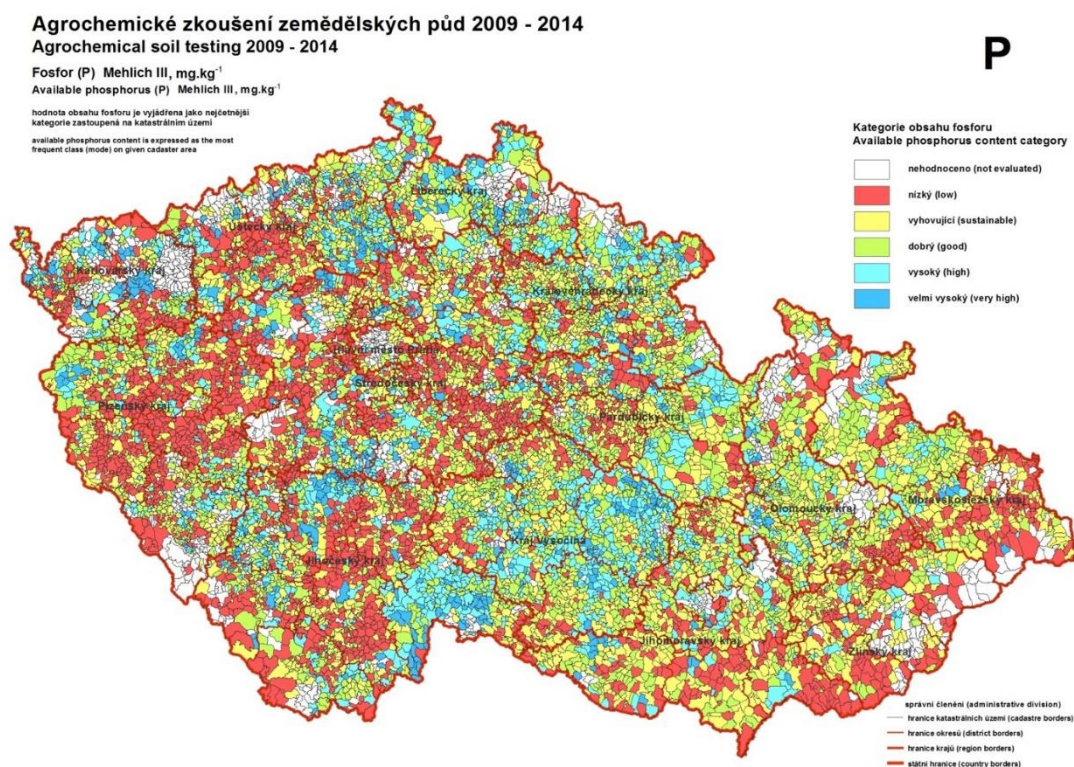
Podle kategorií zásobenosti je výměra zemědělské půdy s nízkou zásobou fosforu meziročně stejná, tj. 25,6 % a u orné půdy došlo k poklesu o 0,32 % (Smatanová, Sušil, 2016).

Celková spotřeba čistých živin v ČR byla v roce 2015 137,1 kg.ha⁻¹ zemědělské půdy, což je asi 59 % úrovně z roku 1989. Na grafu 3 je znázorněna spotřeba hnojiv v letech 2004 – 2015. Z uvedeného množství však většinu tvoří dusík. Spotřeba fosforečných hnojiv je při tomto srovnání pouze 21 % (MZP, 2015).

Graf 3 Spotřeba minerálních (suma N, P₂O₅ a K₂O) a fosforečných (P₂O₅) hnojiv 2004 – 2015 (ČSU, 2017)



Dlouhodobý bilanční deficit v použití fosforečných hnojiv, jak je vidět na obr. 10 naznačuje zvýšené čerpání fosforu z půdy, čímž se snižuje její úrodnost. Fosforem by se mělo hnojit tak, aby nedocházelo k prohlubování jeho deficitu v půdě, které následně ohrožuje produkci rostlin. Tím je potlačena i konkurenceschopnost rostlinné výroby v ČR (Kunzová, 2009).



Obr. 10 Přístupný fosfor podle Mehlich III, mg.kg⁻¹ (ÚKZÚZ, 2014)

2.4 Optimalizace výživy ječmene jarního

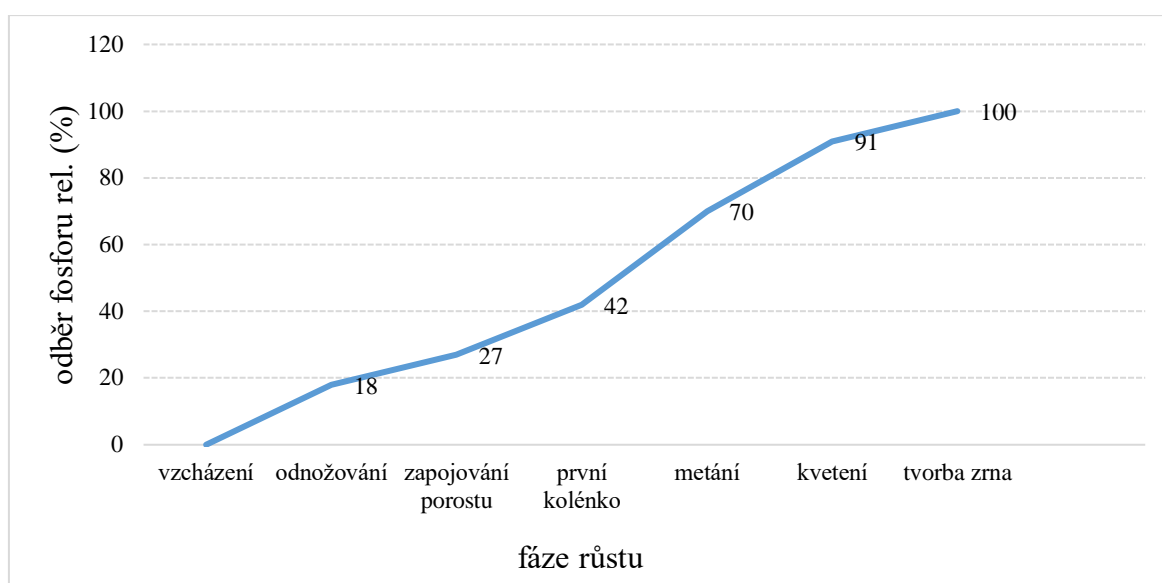
Ječmen vyžaduje vysokou předplodinovou hodnotu, která je dána dobrou zásobou pohotových živin na optimální úrovni. Poslední dobou se snižuje výměra s vhodnými předplodinami pro jarní ječmen (brambory, cukrovka), proto pokud chceme udržet výnosovou úroveň a kvalitu musí se situace řešit intenzivnějšími agrotechnickými opatřeními spolu s výživou. Předpokladem pro úspěšné pěstování ječmene je dobrá a vyrovnaná hladina všech přístupných živin upravená na základě půdních rozborů.

Ječmen má zvýšené nároky na fosfor a další prvky v počátečních vývojových fázích růstu, proto je nutné hnojením živný režim půd upravit už na podzim, nebo brzy z jara při předset'ové přípravě na dobrou zásobu (Richter, Ryant, 2002).

Na grafu 4 jde vidět dynamika odběru fosforu během celé vegetace. Nejvyšší potřebu fosforu má rostlina ve fázi tvorby zrna (Yara, 2017).

Fosforečná hnojiva se aplikují na podzim pouze na neutrální a slabě kyselé půdy. Na půdy s nízkým obsahem fosforu se za vhodných podmínek zapravuje současně se setím 8 – 10 kg P₂O₅ na hektar. Oproti aplikaci na široko je výhodnější zapravení fosforu přímo k semeni (tzv. pod patu). Zjištěný nedostatek fosforu během vegetace se odstraňuje složitě. Klasické hnojení fosforečnými hnojivy na povrch půdy je neúčinné, protože z důvodu nepohyblivosti fosfor nepronikne ke kořenům rostlin (Příkopa, 2005).

Graf 4 Dynamika odběru fosforu rostlinou ječmene během vegetace (Yara, 2017)



Podle Klíra et al. (2008) odebere rostlina ječmene na jednu tunu zrna 20,1 kg dusíku, 9,4 kg fosforu a 13,4 kg draslíku.

K operativnímu odstranění deficitu živin v rostlině je možné použít listová hnojiva. Koncentraci roztoku připraveného k ošetření plodin je třeba dodržet podle údajů uvedených výrobcem na etiketě. Obyčejně platí, že u makrobiogenních prvků (P, K, Ca, Mg, S) je koncentrace 1–2 %. Mimokořenová výživa však nemůže nahradit výživu kořeny, protože se její pomocí do porostu dodá pouze malé množství živin (dusík v jednotkách kg.ha⁻¹, u ostatních živin od jednotek po stovky g.ha⁻¹). Je třeba ji chápat jako doplňkovou výživu (Richter, Škarpa, 2013).

Svůj význam má mimokořenová výživa k odstranění krátkodobých deficitů zvláště v raných fázích vývoje, nebo v období reprodukčních fází, kdy se snižuje aktivita kořenového systému. V této době provedená mimokořenová výživa často pozitivně ovlivňuje kvalitu produktu (Trčková, Jandová, 2003).

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Cíl práce a hypotézy

Diplomová práce přispívá ke studiu zákonitostí výživy ječmene jarního fosforem. Formou přesného nádobového pokusu založeného ve vegetační hale Ústavu agrochemie, půdoznalství, mikrobiologie a výživy rostlin AF Mendelovy university v Brně byl zjišťován vliv základního hnojení fosforem při rozdílných úrovních kyselosti půdy na výnos a kvalitu sladovnického ječmene.

Konkrétní cíle diplomové práce jsou:

- vypracování literárního přehledu zabývajícího se problematikou pěstování ječmene a jeho nárokům na výživu fosforu,
- založení nádobového pokusu s ječmenem jarním pěstovaného v podmínkách kyselé, neutrální a alkalické půdy,
- vyhodnocení účinku aplikace vybraných druhů fosforečných hnojiv na odběr fosforu rostlinou, obsah fosforu v půdě, výnos a kvalitu sladovnického ječmene.

4 MATERIÁL A METODIKA

Metodika nádobového pokusu

Ve vegetačním experimentu založeném formou nádobového pokusu (Mitscherlichovy nádoby) byl sledován účinek fosforečného hnojení při rozdílné kyselosti půdy na zásobu vybraných biopřístupných forem fosforu v půdě, jeho příjem rostlinami ječmene jarního, produkci zrna ječmene a jeho kvalitu.

Příprava nádobového pokusu započala na podzim roku 2015 výběrem vhodné půdy. V rámci monitoringu bylo odebráno 12 půd, ze kterých byly na základě chemického rozboru vybrány 3. Půda kyselá a neutrální byla odebrána z pozemků ŠZP Žabčice a půda alkalická byla odebrána z katastru obce Dolní Dubňany. Charakteristiku pozemků uvádí hodnoty BPEJ.

Půda kyselá (BPEJ 0.04.00) je jemně drobtovitá až nestrukturní písčaná orná půda bez skeletu až slabě skeletovitá závislá na substrátu. Zrnitostním charakterem je lehká, mírně pórovitá a středně vododržná. Její půdní reakce je neutrální (BPEJ, 2017).

Půda neutrální (BPEJ 0.05.00) je orná půda, která má drobtovou strukturu, je bezskeletovitá, ojediněle slabě skeletovitá. Podle zrnitostního charakteru je středně těžká až lehká, středně pórovitá a silně vododržná. Její půdní reakce je neutrální (BPEJ, 2017).

Půda alkalická (BPEJ 2.56.00) je orná půda s drobtovitou strukturou, bez skeletu až slabě skeletovitá. Podle zrnitostního charakteru je středně těžká až těžká, mírně až středně pórovitá a silně vododržná. Její půdní reakce je neutrální až alkalická (BPEJ, 2017).

Půdy byly z pozemků odebrány v prosinci 2015 a odvezeny do Brna. Tam byly v prostorách skladu půdy biotechnologického pavilonu M v areálu MENDELU rovnoměrně rozprostřeny a ponechány přirozenému vyschnutí. V lednu 2016 byly půdy homogenizovány a naváženy do jednotlivých Mitscherlichových nádob v navážce 6,5 kg na nádobu. Jejich agrochemickou charakteristiku prezentují rozbor v tab. 1.

Tab. 1 Rozbory půd před setím (Mehlich III)

půda	pH	P mg.kg ⁻¹	K mg.kg ⁻¹	Ca mg.kg ⁻¹	Mg mg.kg ⁻¹	druh půdy
kyselá	5,08	66	145	1252	110	lehká
		vyhovující	vyhovující	vyhovující	vyhovující	
neutrální	7,15	156	228	2215	179	středně těžká až lehká
		vysoký	dobry	dobry	dobry	
alkalická	7,46	105	531	7322	371	středně těžká až těžká
		dobry	velmi vysoký	velmi vysoký	velmi vysoký	

Tyto nádoby byly na konci března uloženy do vegetační haly biotechnologického pavilonu M. V termínu 1. 4. 2016 byly do nádob aplikovány hnojiva podle schématu uvedeném v tab. 2 a provedeno setí v počtu 15 zrn na nádobu.

Tab. 2 Schéma hnojení pokusu

pH půdy	Varianta hnojení	Dávka P ₂ O ₅ v kg.ha ⁻¹	Dávka hnojiva v kg.ha ⁻¹	Hmotnost hnojiva na nádobu (g)
kyselá	nehnojeno	0	0	0
	Superfosfát	39	86	0,27
	Amofos	39	80	0,25
	Duofertil TOP 38 NP	39	130	0,41
neutrální	nehnojeno	0	0	0
	Superfosfát	39	86	0,27
	Amofos	39	80	0,25
	Eurofertil TOP 38 NP	39	195	0,61
alkalická	nehnojeno	0	0	0
	Superfosfát	39	86	0,27
	Amofos	39	80	0,25
	Duofertil TOP 38 NP	39	130	0,41

Rozdílná dávka dusíku aplikovaná hnojivy (Amofos, Duefertil TOP 38 NP a Eurofertil TOP 35 NP) byla dorovnána přihnojením dusičnanem amonným. Do pokusů byla zařazena odrůda ječmene jarního Sunshine, tedy sladovnická odrůda s výběrovou sladovnickou jakostí. Rostliny jsou středně vysokého vzrůstu, středně až méně odolné proti poléhání. Zrno má středně velká až velká s vysokým výnosem předního zrna. Odrůda je středně odolná proti napadení padlím travním na listu (Horáková, Dvořáčková, 2016). Každá varianta byla založena v počtu 7 nádob, z toho 4 nádoby byly určeny na sklizeň, zbylé 3 nádoby pro odběr vzorků rostlin a půdy během vegetace. Níže je uvedena charakteristika použitých hnojiv.

Trojité superfosfát granulovaný

Trojité superfosfát je jednosložkové hnojivo s vysokým obsahem fosforu v granulované formě. Jedná se o rychle působící fyziologicky neutrální hnojivo. Obsahuje 45 % fosforečnanu P_2O_5 rozpustným v neutrálním citranu amonném, 43 % rozpustným ve vodě. Používá se jako základní rychle působící fosforečné hnojivo před a po výsevu, na přihnojování plodin ve fázi kritické potřeby živin, stejně jako udržování stálých a vysokých úrod plodin. Jako základní fosforečné hnojivo se nehodí do půdy bohatě zásobené vápníkem, hliníkem a pro půdy silně kyselé (Agro CS, 2017).



Obr. 11 Trojitý superfosfát granulovaný

Amofos NP 12-52

Amofos je granulované hnojivo a jeho podstatnou složkou je fosforečnan amonný, který se získává z apatitového koncentrátu neutralizací kyseliny fosforečné amoniakem. Z celkového obsahu fosforu je minimálně 40 % vodorozpustného P_2O_5 . Granule jsou šedobílé. Obsahuje 52 % fosforu jako P_2O_5 , 12 % dusíku jako N (NH_3). Amofos se používá k podzimnímu předset'ovému hnojení fosforem. Protože je dobře rozpustné ve vodě, je doporučováno i k regeneračnímu hnojení ozimů (Agropodnik a.s. Hradec Králové, 2017).



Obr. 12 Amofos NP 12-52

Eurofertil TOP 35 NP

Granulovaná hnojiva Eurofertil patří mezi specifická granulovaná hnojiva obsahující makro a mikro živiny a různé formy dusíku a fosforu. Dále obsahují velmi důležité složky, které rozhodují o rozpustnosti těchto produktů, resp. o rychlosti přechodu živin do půdního roztoku a dále pak látky ovlivňující následný vývoj rostlin. Jedná se o speciální nosič živin Mescal 975, což je upravený, velice jemný vápenec pro urychlené rozpouštění jednotlivých granulí. Dále Eurofertil obsahuje účinný komplex Physio+, který je založen na bázi fytohormonu – aminopuriiu. Obsahuje 15 % dusíku, 20 % fosforu, 18 % SO_3 , 3 % MgO a 0,5 % Zn (Agrokop Hb, 2017).



Obr. 13 Eurofertil TOP 35 NP

Duofertil TOP 38 NP

Granulované hnojivo Duofertil mimo makro a mikro živin obsahuje organický komplex MPPA Duo, jenž zajišťuje ochranu všech živin obsažených v hnojivu před vysrážením (blokací) a dalšími negativními procesy v půdě, které by vedly k jejich zneprístupnění a tím snížení využitelnosti. Dále obsahuje zcela novou formulaci fosforu TOP-PHOS (fosfor vázaný přes kalciový můstek na organický komplex), který je ve vodorozpustné pro rostliny okamžitě dostupné formě chráněný před vysrážením v různých typech půd (silně kyselé, zásadité, lehké písčité, těžké jílovité) po celou dobu vegetace. Obsahuje 8 % dusíku, 30 % fosforu 8 % SO_3^- , 2 % MgO, 15 % CaO, 0,15 % B a 0,1 % Zn (Timac Agro, 2017).



Obr. 14 Duofertil TOP 38 NP

Po vzejití ječmene (13. 4. 2016) byla provedena instalace závlahového systému, jak je vidět na obr. 15. Při pravidelné kontrole byl porost udržován v bezplevelném stavu a byla prováděna zálivka dle potřeby rostlin.



Obr. 15 Vzešlý porost se závlahovým systémem

První odběry půdních a rostlinných vzorků byly provedeny 25. 4. 2016 ve fázi tří pravých listů. Odběr rostlin byl proveden jednocením v nádobách sklizňových i odběrových, půdy byly odebrány z nádob odběrových pomocí půdní sondýrky. První hnojení dusíkem všech nádob bylo provedeno 2. 5. 2016 ve formě roztoku dusičnanu amonného v dávce 0,2 g na jednu nádobu. Následující odběr rostlin a půdy byl proveden 9. 5. 2016 ve fázi čtyř odnoží. V termínu 14. 5. 2016 (obr. 16) byla provedena aplikace fungicidu Osiris® v dávce odpovídající 3 l.ha⁻¹ a 19. 5. 2016 druhé přihnojení dusíkem v dávce 0,2 g na nádobu.



Obr. 16 Porost v termínu 14. 5. 2016

Poslední půdní a rostlinné odběry plánované během vegetace proběhly stejným způsobem 24. 5. 2016 ve fázi sloupkování – 3. kolénko. Všechny odebrané vzorky půd a rostlin byly v papírových sáčcích vysušeny a uchovány k následujícím rozborům. Odběrem rostlin během vegetace bylo ve sklizňových nádobách ponecháno na sklizeň 10 rostlin.

Při pravidelné kontrole byl po objevení mšice střemchové (*Rhopalosiphum padi*) a kyjatky osenní (*Sitobion avenae*) aplikován 1. 6. 2016 insekticid Nurelle® v dávce odpovídající 0,6 l.ha⁻¹. Po 14 dnech byl tento zásah zopakován.

Sklizeň proběhla ručně 14. 7. 2016 za současného odběru půdních vzorků (obr. 17).



Obr. 17 Porost v termínu sklizně

Po sklizni bylo zrno vyčištěno za použití laboratorní mlátičky a čističky semen Haldrup LT-20 (Germany) na obr. 18. V laboratoři byla u ječmene stanovena hmotnost předního zrna přeseťím (nad sítím 2,5 mm) pomocí laboratorního prosévadla Swing 200 (Česká republika).



Obr. 18 Laboratorní mlátička a čistička semen Haldrup LT-20

Po té byly v zrna pomocí NIR spektrometrie (Míka et al., 2008) stanoveny obsah dusíkatých látek a obsah škrobu, s následným zjištěním obsahu fosforu podle Zbírala (2005).

Po sklizni byly rovněž odebrány půdní vzorky, které byly po vysušení podrobeny chemickým rozborům.

4.1 Chemické rozborů půdy

V půdách bylo podle Zbírala et al., (2016) stanoveno výměnné pH (1:5 půda: 0,01M CaCl_2), před setím přístupné živiny (P, K, Ca a Mg) dále jen fosfor stanovený extrakčním činidlem Mehlich III (1:10 půda: extrakční činidlo Mehlich III). Obsahy fosforu byly z výluhů stanoveny kolorimetricky na přístroji UV/VIS spektrofotometr ATI Unicam 8625 (ATI Unicam, Cambridge. UK). Draslík, vápník a hořčík byly stanoveny metodou atomové absorpční spektrofotometrie (AAS) na přístroji AAS 30 (Carl Zeiss Jena, Germany) a Contr AA 700 (Analytik Jena AG, Jena, Germany). Dále byl podle Zbírala et al., (2016) spektrofotometricky stanoven vodorozpustný fosfor (1:10 půda: 0,01M CaCl_2) a přístupný fosfor podle Egnera (1:5 půda: extrakční roztok podle Egnera).

4.2 Rozborů rostlin a zrna

Rostliny byly předsušeny při teplotě 50 ° C a následně zhomogenizovány na laboratorním mlýnku Grindomix 200 (Fisher Scientific, spol. s r.o., USA). Takto byla hmota připravena k stanovení fosforu mineralizací na mokré cestě v mikrovlném uzavřeném

systemu prostředí H_2SO_4 and H_2O_2 (Zbiral 2005) v přístroji Ethos 1 (Milestone S.r.l., Sorisole Italy). Obsah fosforu byl stanoven kolorimetricky na přístroji UV/VIS spektrofotometr, ATI Unicam 8625. Před mineralizací byla u rostlinné hmoty stanovena absolutní sušina gravimetricky (Zbiral, 2005) nutná pro přepočet obsahu fosforu na %.

Obsah dusíkatých látek a škrobu byl stanoven v celém zrně metodou NIR (spektrometrie v blízké infračervené oblasti) v přístroji Nicolet Magna 550 series II FTIR (GMI Minneapolis USA) podle (Mika et al., 2008).

4.3 Statistická analýza výsledků

Pro statistické hodnocení byl použit program Statistica 12 CZ (Stat Soft CZ, Praha, ČR). Vliv aplikace fosforu na sledované charakteristiky byl hodnocen vícefaktorovou analýzou variance (ANOVA). Hmotnost sušiny rostlin, odběr fosforu rostlinou, jeho obsah v rostlinách ječmene a v půdě, výnosové a kvalitativní parametry byly hodnoceny jako aritmetické průměry. Variabilita hodnocených skupin byla vyjádřena směrodatnou chybou (SE).

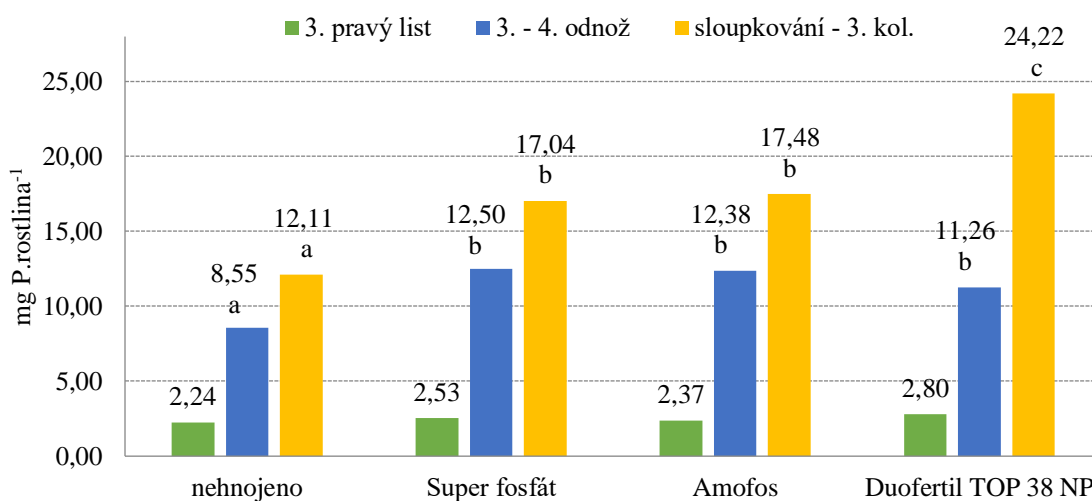
Rozdíly ve sledovaných znacích mezi jednotlivými variantami byly hodnoceny následným testováním dle Fishera (LSD test) při 95,0% ($P \leq 0,05$) hladinách významnosti. Závislost mezi vybranými parametry byla hodnocena korelační analýzou s následným statistickým vyhodnocením.

5 VÝSLEDKY A DISKUSE

5.1 Odběr fosforu rostlinami

Druh fosforečného hnojiva aplikovaného do kyselé půdy měl průkazný vliv na odběr fosforu rostlinou. Již ve fázi 3. pravého listu byly zjištěny mezi sledovanými variantami rozdíly, jak prezentuje graf 5. Nejvyšší odběr fosforu byl zaznamenán na variantě hnojené Duofertilem TOP 38 NP. Ve fázi vytvořených 3 – 4 odnoží se odběr P rostlinami pěstovanými na hnojených variantách vyrovnal, statisticky průkazně ($P \leq 0,05$) byl vyšší (o 31 – 41 %) v porovnání s nehnojenou variantou. Ve fázi sloupkování se statisticky průkazně ($P \leq 0,05$) zvýšil odběr na variantě s hnojivem Duofertil TOP 38 NP. Oproti nehnojené variantě se odběr této živiny zdvojnásobil. Oproti Amofosu a Superfosfátu byl navýšen téměř o 60 %. Tento rozdíl lze přisuzovat nízkému pH zkoušené půdy a složením hnojiva s lepší mobilitou fosforu.

Graf 5 Odběr fosforu ($\text{mg P.rostlina}^{-1}$) rostlinou ječmene pěstovaného na kyselé půdě



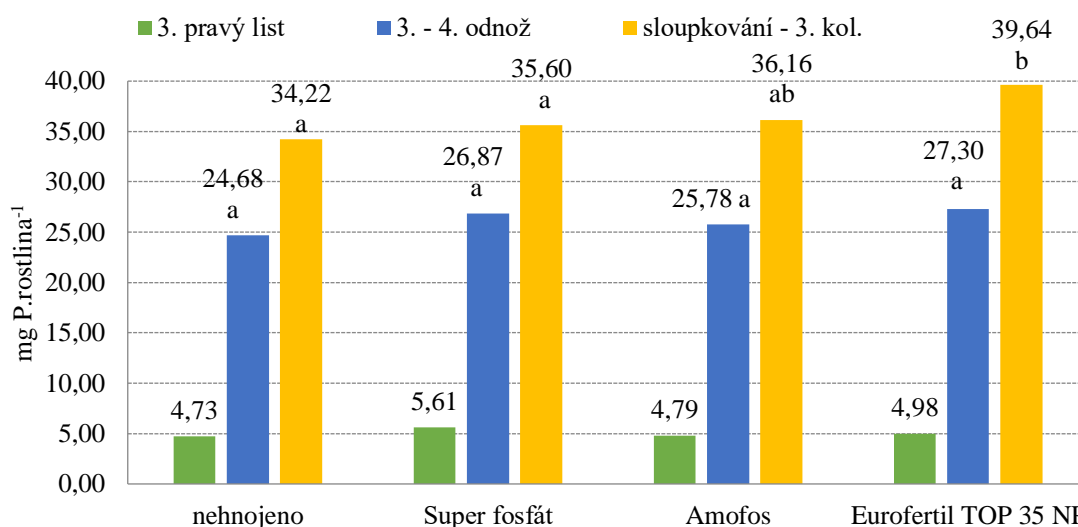
Následné testování (Fischerův LSD test) – varianty se stejnými písmeny vyjadřují statisticky nevýznamný rozdíl ($P \leq 0,05$).

Jak jde vidět na grafu 6, na rozdíl od kyselé půdy byly odběry fosforu rostlinami ječmene v podmínkách neutrální půdy vyšší. To bylo způsobeno přirozenou vyšší zásobou této živiny v půdě (tab. 1).

Vyšší zásoba přístupného fosforu v půdě je důvodem poměrně vyrovnaného odběru této živiny mezi sledovanými variantami hnojení a kontrolou bez průkazných rozdílů ve fázi vytvořených 3 – 4 odnoží. Až později, ve fázi sloupkování – 3. kolénko, se projevil

účinek hnojiva Eurofertil TOP 35 NP jehož vlivem se odběr fosforu statisticky významně ($P \leq 0,05$) zvýšil v porovnání s ostatními hnojivy v průměru o 10,5 %, při srovnání s nehnojenou variantou o 16 %.

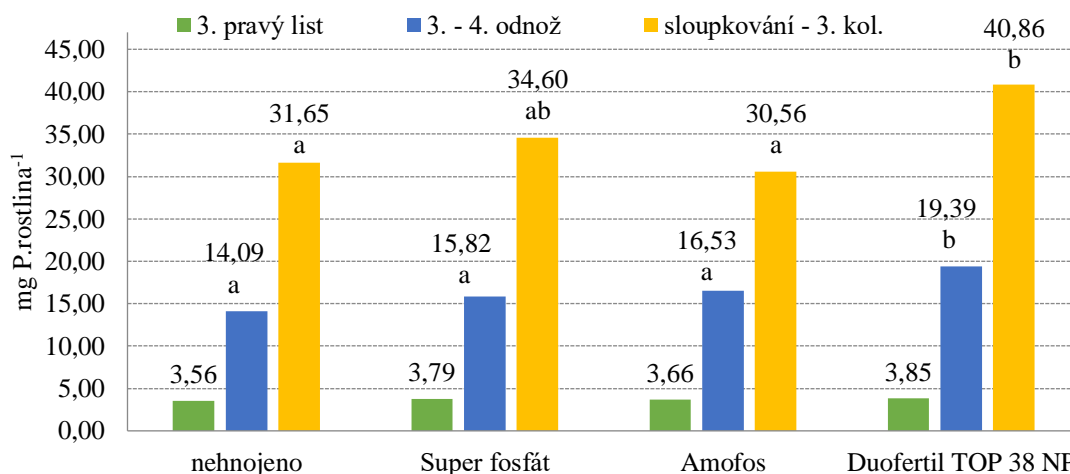
Graf 6 Odběr fosforu ($\text{mg P.rostlina}^{-1}$) rostlinou ječmene pěstovaného na neutrální půdě



Následné testování (Fischerův LSD test) – varianty se stejnými písmeny vyjadřují statisticky nevýznamný rozdíl ($P \leq 0,05$).

Odběr fosforu rostlinami ječmene, pěstovaném na alkalické půdě je uveden v grafu 7.

Graf 7 Odběr fosforu ($\text{mg P.rostlina}^{-1}$) rostlinou ječmene pěstovaného na alkalické půdě



Následné testování (Fischerův LSD test) – varianty se stejnými písmeny vyjadřují statisticky nevýznamný rozdíl ($P \leq 0,05$).

Na variantě vyživované Duofertilem TOP 38 NP byl ve sledovaných vývojových fázích statisticky průkazně nejvyšší ($P \leq 0,05$) ve fázi 3 – 4 odnoží a vytvořeného 3. kolénka. Zjištěné nárůsty v odběru fosforu se v uvedených termínech pohybovaly

při srovnání s odběrem na variantách s aplikací Superfosfátu a Amofosu na úrovni 23, 17, 18 a 34 %.

Z prezentujících výsledků odběrů fosforu rostlinou během vegetace je patrný účinek hnojiva Duofertil TOP NP 38. Efektivita hnojení tímto hnojivem, měřená množstvím odebraného fosforu porostem ječmene, byla v porovnání s konvenčními hnojivy Superfosfát a Amofos signifikantně vyšší ($P \leq 0,05$) především na kyselé a alkalické půdě. Nárůst v odběru fosforu byl důsledkem navýšeného obsahu fosforu v rostlině (tab. 3) a významně se na něm podílelo zvýšení hmotnosti rostlin (tab. 4). Mesfin, Zemach (2015) ve svém pokusu s ječmenem též zjistili statisticky významný vliv hnojení fosforem na přírůstek biomasy rostlin, na rozdíl od Ottmana (2011), který vliv hnojení na přírůstek biomasy nepotvrdil.

Tab. 3 Obsah fosforu v rostlinách ječmene (% abs. suš)

		Obsah P v rostlině v % abs. suš. \pm SE (rel. %)		
		3. pravý list	3. – 4. odnož	sloupkování – 3. kol.
kyselá	nehnojeno	0,38 (100)	0,30 ^a \pm 0,01 (100)	0,31 ^a \pm 0,02 (100)
	Super fosfát	0,44 (118)	0,36 ^b \pm 0,01 (120)	0,30 ^a \pm 0,00 (97)
	Amofos	0,45 (119)	0,41 ^d \pm 0,00 (139)	0,33 ^a \pm 0,00 (104)
	Duofertil TOP 38 NP	0,44 (118)	0,38 ^c \pm 0,00 (127)	0,38 ^b \pm 0,01 (122)
neutrální	nehnojeno	0,65 (100)	0,62 ^a \pm 0,00 (100)	0,53 ^a \pm 0,01 (100)
	Super fosfát	0,69 (106)	0,62 ^a \pm 0,01 (100)	0,54 ^a \pm 0,01 (102)
	Amofos	0,64 (99)	0,63 ^a \pm 0,01 (101)	0,57 ^a \pm 0,02 (108)
	Eurofertil TOP 35 NP	0,64 (99)	0,66 ^b \pm 0,01 (107)	0,57 ^a \pm 0,01 (108)
alkalická	nehnojeno	0,51 (100)	0,45 ^a \pm 0,00 (100)	0,38 ^a \pm 0,00 (100)
	Super fosfát	0,54 (105)	0,46 ^a \pm 0,02 (101)	0,39 ^a \pm 0,01 (104)
	Amofos	0,55 (106)	0,46 ^a \pm 0,01 (102)	0,40 ^a \pm 0,02 (107)
	Duofertil TOP 38 NP	0,59 (114)	0,48 ^a \pm 0,00 (106)	0,44 ^b \pm 0,00 (116)

Následné testování (Fischerův LSD test) – varianty se stejnými písmeny vyjadřují statisticky nevýznamný rozdíl ($P \leq 0,05$).

Tab. 4 Hmotnost rostlin ječmene (g.rostlina⁻¹)

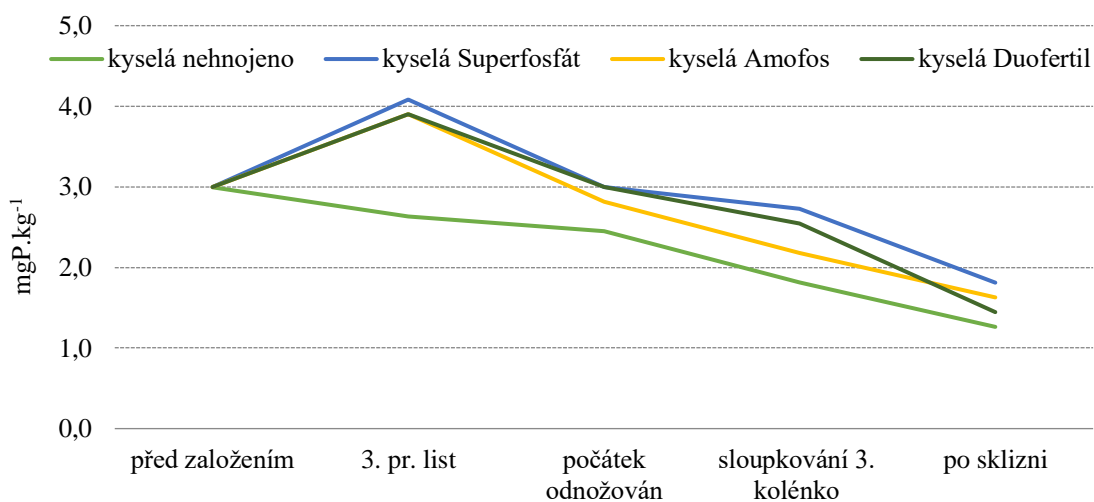
		Hmotnost rostlin g.rostlina ⁻¹ ± SE (rel. %)		
		3. pravý list	3. - 4. odnož	sloupkování - 3. kol.
kyselá	nehnojeno	0,59 (100)	2,88 ^a ±0,00 (100)	3,90 ^a ±0,28 (100)
	Super fosfát	0,57 (96)	3,50 ^b ±0,1 (121)	5,61 ^a ±0,09 (144)
	Amofos	0,52 (88)	3,01 ^a ±0,16 (104)	5,35 ^b ±0,03 (137)
	Duofertil TOP 38 NP	0,63 (107)	2,98 ^a ±0,05 (103)	6,33 ^c ±0,11(162)
neutrální	nehnojeno	0,73 (100)	3,97 ^a ±0,08 (100)	6,44 ^{ab} ±0,3 (100)
	Super fosfát	0,82 (111)	4,33 ^a ±0,31 (109)	6,55 ^{ab} ±0,02 (102)
	Amofos	0,75 (102)	4,12 ^a ±0,08 (104)	6,29 ^a ±0,13 (98)
	Eurofertil TOP 35 NP	0,78 (107)	4,11 ^a ±0,14 (103)	6,95 ^b ±0,13 (108)
alkalická	nehnojeno	0,69 (100)	3,11 ^a ±0,11 (100)	8,44 ^a ±0,44 (100)
	Super fosfát	0,70 (102)	3,45 ^{ab} ±0,18 (111)	8,88 ^a ±1,10 (105)
	Amofos	0,67 (97)	3,56 ^b ±0,05 (114)	7,67 ^a ±0,43 (91)
	Duofertil TOP 38 NP	0,65 (94)	4,05 ^c ±0,02 (130)	9,38 ^a ±0,45 (111)

Následné testování (Fischerův LSD test) – varianty se stejnými písmeny vyjadřují statisticky nevýznamný rozdíl (P≤0,05).

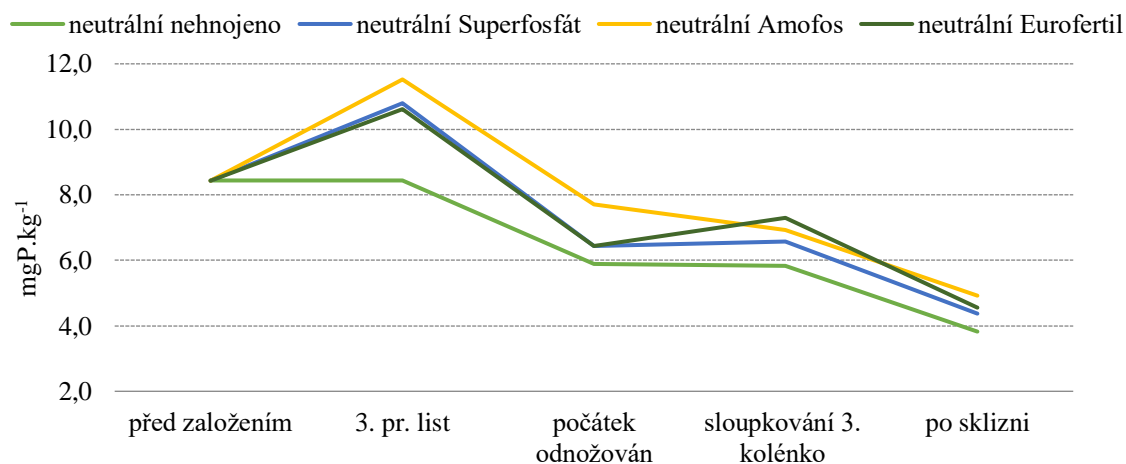
5.2 Obsah fosforu v půdě

Změna obsahu vodorozpustného fosforu během vegetace stanoveného ve výluhu v CaCl_2 je vidět na grafech 8, 9, 10. Jsou zde patrné rozdíly v obsahu fosforu mezi sledovanými půdami způsobené přirozeným obsahem fosforu. Dynamika vývoje obsahu vodorozpustného fosforu je shodná na všech zkoušených půdách. Hnojení zvýšilo jeho množství v termínu prvního odběru, na půdě kyselé v průměru o 32 %, půdě neutrální o 30,5 % a na alkalické půdě o 13,5 %. Zvýšenou zásobu půdního fosforu vlivem jeho aplikace uvádějí Zhang et al. (2004) V dalších odběrech se obsah vodorozpustného fosforu v půdě snižoval, což lze vysvětlit odběrem živin rostlinou.

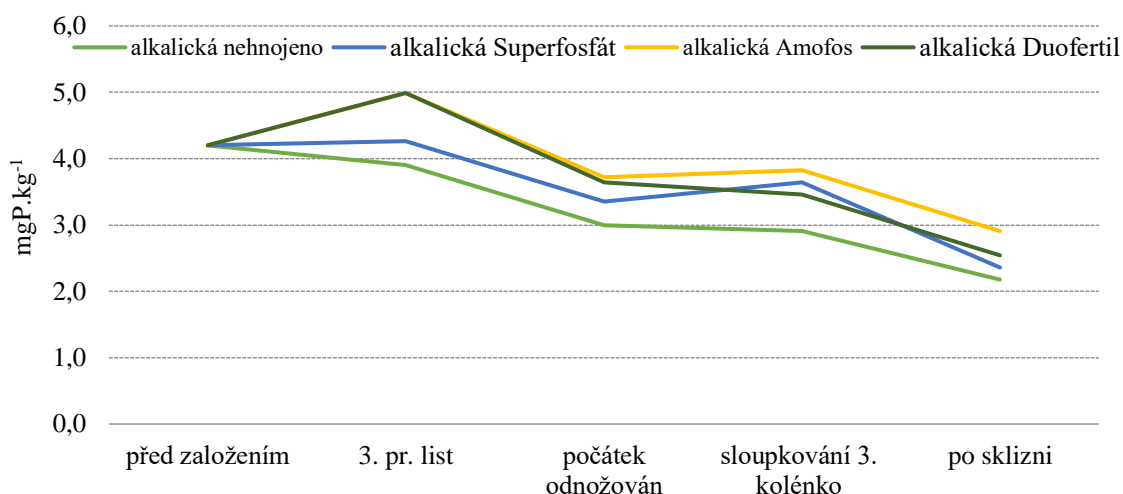
Graf 8 Obsah P (mg.kg^{-1}) ve výluhu CaCl_2 na kyselé půdě



Graf 9 Obsah P (mg.kg^{-1}) ve výluhu CaCl_2 na neutrální půdě

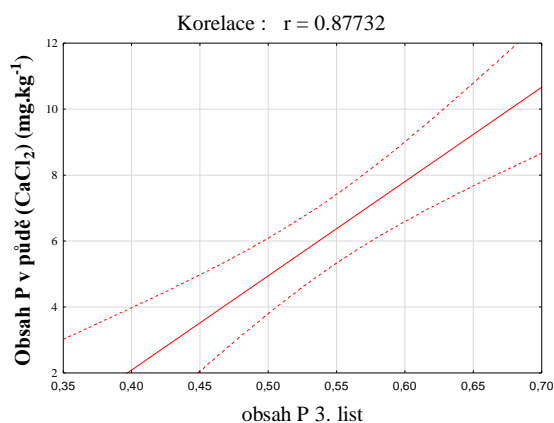


Graf 10 Obsah P ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) ve výluhu CaCl_2 na alkalické pudě

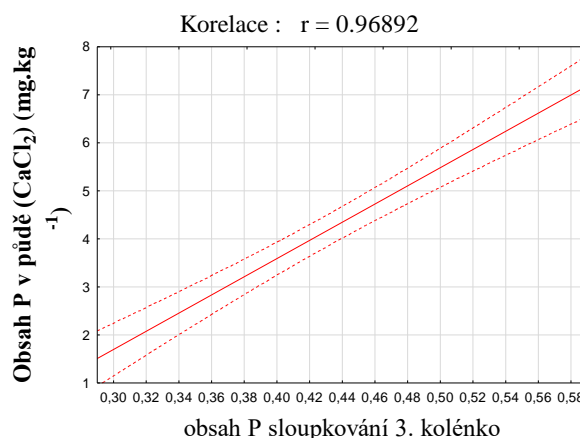


Jak prezentují grafy 11 a 12, vodorozpustné formy fosforu statisticky průkazně ($P \leq 0,05$) korelovaly s jeho obsahem v rostlině.

Graf 11 Korelace obsahu vodorozpustného fosforu v půdě s obsahem v rostlině ve fázi 3. listu



Graf 12 Korelace obsahu vodorozpustného fosforu v půdě s obsahem v rostlině ve fázi 3. kolénka



Aplikace fosforu do půdy a jeho spotřeba rostlinami se projevila i na zásobě přístupné formy fosforu stanovené ve výluhu Mehlich III a Egner, jak prezentují tab. 5 a 6. Podobně jako u vodorozpustné formy fosforu se také obsahy přístupného fosforu v půdě zvýšily po aplikaci fosforečných hnojiv, jak je vidět z výsledků analýz v první fázi růstu rostlin (3. pravý list). Mazza et al. (2012) prezentují, že stupňované hnojení fosforem zvýšilo lineárně obsah jeho přístupné formy v půdě a v prvním roce mělo za následek produkci pastevního porostu s vyšším obsahem tohoto prvku v rostlinách. Dynamika změn obsahů

fosforu v půdě stanoveného podle Mehlicha III je z výsledků rozborů během vegetace shodná s vývojem množství fosforu stanoveného podle Egnera. K výrazným změnám mezi množstvími půdního fosforu zjištěného uvedenými metodami dochází až v termínu posklizňového rozboru. Z nich je patrné, že zatímco na půdě kyselé jsou obě metody ve shodě, kdy dochází k poklesu obsahu přístupných forem fosforu při srovnání s termínem předchozích odběrů půdy (sloupkování – 3. kolénko) na úroveň 82 % zásoby fosforu (Mehlich III) a 40 % (Egner), na půdách neutrálních a alkalických vývoj obou zmiňovaných forem fosforu nekoreluje. K výraznému poklesu zásoby přístupného fosforu dochází především při jeho stanovení podle Egnera, a to na půdě neutrální na úroveň 45 % obsahu fosforu předchozího rozboru, na půdě alkalické na úroveň 41 %, zatímco Mehlich III poklesl na 88 % úroveň (neutrální půda), 93 % úroveň předchozího rozboru.

V tab. 6 v rozbořech po sklizni byl obsah přístupného fosforu nižší než v tab. 5 u Mehlicha III. Metoda na zjištění přístupného fosforu podle Egnera dokázala vyjádřit fosfor v přijatelné formě pro rostliny na rozdíl od Mehlicha III jež vyjádřil i fosfor vázaný, pro rostliny méně přístupný.

Tab. 5 Obsah přístupného P podle Mehlich III

		Mehlich III mg P.kg ⁻¹				
		před založením	3. pravý list	poč. odnožování	sloup. 3. kol.	po sklizni
kyselé	nehnojeno	76,6	77,6	72,6	75,5	58,7
	Superfosfát	76,6	87,7	77,5	81,4	69,4
	Amofos	76,6	83,6	78,6	82,3	67,5
	Duofertil TOP 38 NP	76,6	85,7	75,7	80,4	65,5
neutrální	nehnojeno	162,2	163,2	145,3	153,9	131,9
	Superfosfát	162,2	172,1	149,9	162,8	143,7
	Amofos	162,2	182,2	160,8	163,9	152,5
	Eurofertil TOP 35 NP	162,2	178,2	150,9	166,7	144,7
alkalická	nehnojeno	100,5	101,5	88,4	94,4	87,9
	Superfosfát	100,5	111,4	90,4	99,3	90,9
	Amofos	100,5	115,5	93,3	102,3	100,7
	Duofertil TOP 38 NP	100,5	114,4	96,2	101,4	91,9

Tab. 6 Obsah přístupného P podle Egner

		Egner mg P.kg ⁻¹				
		před založením	3. pravý list	poč. odnožování	sloup. 3. kol.	po sklizni
kyselá	nehnojeno	56,26	65,69	58,15	65,49	22,60
	Superfosfát	56,26	73,23	63,80	67,35	28,60
	Amofos	56,26	72,28	63,80	69,22	29,10
	Duofertil TOP 38 NP	56,26	78,88	59,09	62,69	26,20
neutrální	nehnojeno	240,98	240,98	215,53	243,66	106,50
	Superfosfát	240,98	248,52	202,61	254,85	106,90
	Amofos	240,98	283,39	239,93	228,73	114,50
	Eurofertil TOP 35 NP	240,98	279,62	252,05	228,73	105,90
alkalická	nehnojeno	84,53	65,69	75,75	84,14	34,20
	Superfosfát	84,53	92,07	72,01	85,07	34,70
	Amofos	84,53	96,79	88,81	86,01	36,20
	Duofertil TOP 38 NP	84,53	96,79	73,88	83,21	35,30

Aplikace a spotřeba fosforečných hnojiv se projevila i v rozbořech podle Mehlich III a Egnera. V tab. 5 a 6 jde vidět provedená aplikace před setím, která vynikla v prvních odběrech půdy. Obsahy fosforu podle Mehlicha III se během vegetace kromě odběrů po sklizni oproti rozborům dle Egnera téměř nemění.

5.3 Výnos zrna

Hnojení fosforečnými hnojivy nepřineslo na kyselé půdě (tab. 7) efekt zvýšení výnosu. Statisticky významný vliv ($P \leq 0,05$) nebyl prokázán. Použitá hnojiva dosahovala téměř totožných výnosů jako nehnojená varianta. Průměrný výnos na nádobu byl 23,27 g. Nejvyššího výnosu dosáhlo hnojivo Superfosfát a to 23,67 g.

Tab. 7 Výnos ječmene g.nádoba⁻¹ na kyselé půdě

		Výnos g.nádoba ⁻¹ ± SE (rel. %)
kyselá	nehnojeno	22,24 ^a ± 1,03 (100)
	Superfosfát	23,80 ^a ± 0,75 (107)
	Amofos	23,37 ^a ± 0,97 (105)
	Duofertil TOP 38 NP	23,67 ^a ± 0,67 (106)

Následně testování (Fischerův LSD test) – varianty se stejnými písmeny vyjadřují statisticky nevýznamný rozdíl ($P \leq 0,05$).

Zvýšení výnosu na neutrální půdě při použití fosforečných hnojiv prezentuje tab. 8. Statisticky průkazně ($P \leq 0,05$) se zvýšil výnos zrna u hnojení Amofosem. Oproti kontrole, která vyprodukovala 23,24 g se výnos po použití Amofosu zvýšil o 11 % na 25,75 g.

Tab. 8 Výnos ječmene g.nádoba⁻¹ na neutrální půdě

		Výnos g.nádoba ⁻¹ ± SE (rel. %)
neutrální	nehnojeno	23,24 ^a ±0,48 (100)
	Superfosfát	25,24 ^{ab} ±0,73 (109)
	Amofos	25,75 ^b ±0,91 (111)
	Eurofertil TOP 35 NP	25,27 ^{ab} ±0,96 (109)

Následné testování (Fischerův LSD test) – varianty se stejnými písmeny vyjadřují statisticky nevýznamný rozdíl ($P \leq 0,05$).

Produkcí zrna na alkalické půdě reprezentuje tab. 9. Dosažené výsledné výnosy se od sebe statisticky významně ($P \leq 0,05$) neliší. Nejvyššího výnosu dosáhlo hnojení Superfosfatem o produkci 22,87 g, což je 11 % nárůst oproti nehnojené kontrole. Celkově výnosy na alkalické půdě dosahují nejnižších hodnot v porovnání s předchozími variantami zkoušených hnojiv a pH půd.

Nárůst výnosu v nádobovém pokusu koresponduje s výsledky Hřivny (2010), který prezentuje přírůstek výnosu po aplikaci hnojiva Eurofertil Plus NP 35 publikovaného v dávce 133 kg.ha⁻¹ oproti kontrole ve výši 459 kg.ha⁻¹, což představuje nárůst cca 8 %. Na rozdíl od mého pokusu zjistil Mesfin a Zemach (2015) statisticky významný efekt hnojením fosforem na výnos, který se po aplikaci fosforečných hnojiv zvýšil oproti nehnojené kontrole téměř dvojnásobně. Rovněž Dejene a Fetijen (2014) potvrzují statisticky průkazné zvýšení výnosu zrna po aplikaci fosforu.

Tab. 9 Výnos ječmene g.nádoba⁻¹ na alkalické půdě

		Výnos g.nádoba ⁻¹ ± SE (rel. %)
alkalická	nehnojeno	20,60 ^a ±0,74 (100)
	Superfosfát	22,87 ^a ±1,83 (111)
	Amofos	22,24 ^a ±0,35 (108)
	Duofertil TOP 38 NP	22,80 ^a ±1,43 (111)

Následné testování (Fischerův LSD test) – varianty se stejnými písmeny vyjadřují statisticky nevýznamný rozdíl ($P \leq 0,05$).

5.4 Kvalita zrna

Výsledky rozborů zrna vypěstovaného na kyselé půdě jsou prezentovány v tab. 10. Vliv hnojení na obsah fosforu, ani obsahu škrobu v zrně nebyl statisticky významný ($P \leq 0,05$). Ottman (2011) ve svém pokusu s ječmenem též uvádí statisticky nevýznamný ($P \leq 0,05$) vliv hnojení fosforem na zvýšení obsahu fosforu a škrobu v zrně. Obsah dusíkatých látek (NL) byl signifikantně ($P \leq 0,05$) nižší pouze na variantě hnojené Amofosem. Nejvyšší hodnoty NL bylo dosaženo na variantě nehnojené, která převyšovala úroveň obsahu dusíkatých látek variant fosforem hnojených o 1 – 6 %. Stejně tak Ottman (2011) nepotvrdil statisticky významný rozdíl hnojení fosforem na zvýšení obsahu dusíkatých látek v zrně.

Tab. 10 Procentický obsah fosforu, škrobu a dusíkatých látek v zrně ječmene pěstovaného na kyselé půdě

		Obsah P %	Obsah škrobu (%)	Obsah NL (%)
kyselá	nehnojeno	0,41 ^a ±0,03 (100)	64,78 ^a ±0,29 (100)	10,57 ^b ±0,19 (100)
	Superfosfát	0,39 ^a ±0,02 (96)	64,65 ^a ±0,22 (100)	10,50 ^b ±0,13 (99)
	Amofos	0,40 ^a ±0,04 (100)	64,68 ^a ±0,31 (100)	9,93 ^a ±0,09 (94)
	Duofertil TOP 38 NP	0,38 ^a ±0,03 (94)	64,35 ^a ±0,39 (99)	10,20 ^{ab} ±0,17 (96)

Následné testování (Fischerův LSD test) – varianty se stejnými písmeny vyjadřují statisticky nevýznamný rozdíl ($P \leq 0,05$).

Tab. 11 ukazuje výsledky rozborů zrna ječmene na neutrální půdě. Efekt hnojení na změnu zkoušených parametrů nebyl statisticky průkazný ($P \leq 0,05$). Obsah fosforu v zrně byl totožný u všech použitých hnojiv. Obsah škrobu dosahoval stejné úrovně u všech použitých hnojiv kromě Eurofertilu TOP 35 NP, který měl menší obsah od průměru o zanedbatelného půl procenta. Též obsah dusíkatých látek v zrně se od sebe významně ($P \leq 0,05$) nelišil.

Tab. 11 Procentický obsah fosforu, škrobu a dusíkatých látek v zrně ječmene pěstovaného na neutrální půdě

		Obsah P %	Obsah škrobu (%)	Obsah NL (%)
neutrální	nehnojeno	0,34 ^a ±0,01 (100)	64,35 ^a ±0,42 (100)	10,77 ^a ±0,19 (100)
	Superfosfát	0,37 ^a ±0,02 (106)	64,33 ^a ±0,56 (100)	10,52 ^a ±0,12 (98)
	Amofos	0,37 ^a ±0,02 (108)	64,35 ^a ±0,24 (100)	10,67 ^a ±0,09 (99)
	Eurofertill TOP 35 NP	0,37 ^a ±0,02 (108)	63,98 ^a ±0,35 (99)	10,65 ^a ±0,14 (99)

Následné testování (Fischerův LSD test) – varianty se stejnými písmeny vyjadřují statisticky nevýznamný rozdíl ($P \leq 0,05$).

Tab. 12 prezentuje výsledky rozborů zrna ječmene na alkalické půdě. Statisticky průkazný vliv ($P \leq 0,05$) hnojení fosforem se projevil v obsahu fosforu v zrně na rozdíl

od Ottmana (2011), který vliv hnojení nepotvrdil. Významný ($P \leq 0,05$) rozdíl byl mezi nehnojenou kontrolou a použitými hnojivy Superfosfát a Amofos. Ty měly zvýšený obsah od kontroly o 14 – 15 %. Obsah škrobu se od sebe nelišil, dosahoval průměrných hodnot 64,5 %, avšak nejvyšších hodnot dosahovalo použité hnojivo Superfosfát. Též dusíkaté látky mezi sebou neměly významné rozdíly. Jejich průměrná hodnota byla na 10,5 % a nejvyšší obsah dosahovala varianta hnojení Superfosfát.

Tab. 12 Obsah fosforu, škrobu a dusíkatých látek v zrně ječmene pěstovaného na alkalické půdě

		Obsah P %	Obsah škrobu (%)	Obsah NL (%)
alkalická	nehnojeno	0,39 ^a ±0,03 (100)	64,20 ^a ±0,55 (100)	10,37 ^a ±0,08 (100)
	Superfosfát	0,45 ^b ±0,02 (115)	64,90 ^a ±0,64 (101)	10,72 ^a ±0,23 (103)
	Amofos	0,44 ^b ±0,01 (114)	64,48 ^a ±0,51 (100)	10,26 ^a ±0,15 (99)
	Duofertil TOP 38 NP	0,43 ^{ab} ±0,01 (112)	64,25 ^a ±0,18 (100)	10,54 ^a ±0,22 (102)

Následné testování (Fischerův LSD test) – varianty se stejnými písmeny vyjadřují statisticky nevýznamný rozdíl ($P \leq 0,05$).

Podle Psoty a Kováře (2002) by se měl optimální obsah dusíkatých látek pohybovat v rozmezí 10,2 – 11 %, což kromě použitého hnojiva Amofos na kyselé půdě s výsledkem 9,93 % všechny varianty hnojení na zkoušených půdách splňují.

6 ZÁVĚR

Fosfor aplikovaný do půdy kyselé zvýšil jeho odběr rostlinou již od fáze 3. pravého listu. Ze sledovaných variant byl nejvyšší příjem fosforu zaznamenán po aplikaci hnojiva Duofertil TOP 38 NP, který se ve fázi sloupkování statisticky významně ($P \leq 0,05$) lišil od kontroly i variant hnojených Amofosem a Superfosfátem. Statisticky průkazně ($P \leq 0,05$) zvýšený odběr fosforu rostlinami na této variantě nebyl způsoben pouze nárůstem obsahu fosforu v rostlině, ale i jejich hmotností. Hnojení zvýšilo rovněž množství fosforu v půdě, v termínu prvního odběru (3. pravý list) v průměru o 32 %. V následných odběrech se obsah vodorozpustného obsahu v půdě snižoval spotřebou rostlinami. Aplikace fosforečných hnojiv na kyselé půdě neměla statisticky významný ($P \leq 0,05$) vliv na výnos, obsah fosforu a škrobu v zrně. Efekt aplikovaného fosforu se rovněž neprojevil na obsahu dusíkatých látek v zrně.

Aplikace fosforečných hnojiv se na neutrální půdě též projevila zvýšeným odběrem fosforu rostlinou již ve fázi 3. pravého listu. Nejen odběr fosforu, ale i hmotnost rostlin statisticky významně ($P \leq 0,05$) zvýšilo hnojení Eurofertilem TOP 35 NP ve fázi sloupkování (3. kolénko). Hnojení taktéž zvýšilo množství vodorozpustného fosforu v půdě, a to v termínu prvního odběru průměrně o 30,5 % a podobně jako na půdě kyselé se vlivem odběru rostlin jeho zásoba snižovala. Statisticky významný ($P \leq 0,05$) vliv hnojení na výnos zrna byl zaznamenán pouze u použitého hnojiva Amofos. U kvalitativních prvků zrna nebyl signifikantní ($P \leq 0,05$) rozdíl mezi použitými hnojivy a kontrolou zaznamenán.

Zvýšeným odběrem fosforu rostlinami se hnojení projevilo také na alkalické půdě už od fáze 3. pravého listu. Ze sledovaných variant byl nejvyšší příjem fosforu prokázán ($P \leq 0,05$) u hnojiva Duofertil TOP 38 NP po celou vegetaci. Tato varianta hnojení též prokázala ($P \leq 0,05$) nárůst hmotnosti rostlin ve fázi tvorby 3. – 4. odnoži. Hnojení se projevilo nárůstem vodorozpustného fosforu v půdě v počátku vegetace průměrně o 13,5 %. Použitá fosforečná hnojiva na alkalické půdě neměla na výši výnosu statisticky významný ($P \leq 0,05$) vliv. Signifikantně ($P \leq 0,05$) zvýšily množství fosforu v zrně hnojiva Superfosfát a Amofos. V ostatních kvalitativních parametrech se efekt hnojení statisticky významně ($P \leq 0,05$) neprojevil.

7 DOPORUČENÍ PRO PRAXI

Z výsledků této práce je patrný pozitivní vliv hnojení fosforem na produkci zrna ječmene. Aplikace sledovaných hnojiv se projevila zvýšením výnosu v rozmezí 5 – 11 % od kontroly. Výsledky studie prezentují vícesložkové fosforečné hnojivo Duofertil TOP 38 NP jako efektivnější pro použití na půdě kyselé a alkalické. Na rozdíl od Superfosfátu a Amofosu se jeho aplikace projevila vyšším odběrem fosforu rostlinami ječmene a zvýšeným nárůstem jejich hmotnosti při relativně vysokém zvýšení výnosu (6 – 11 % v závislosti na kyselosti půdy). Na půdě neutrální se aplikace Eurofertilu TOP 35 NP výrazně neprojevila, a to z důvodu dostatečné přirozené zásoby fosforu v půdě a optimální půdní kyselosti pro jeho příjem rostlinami. I přes tuto skutečnost byla na této půdě produkce zrna průkazně zvýšena hnojením Amofosem.

Rozhodující faktor při výběru hnojiva je jeho ekonomický přínos. Z výsledků nádobového pokusu, ve kterém jsem ověřoval účinnost vybraných hnojiv u ječmene jarního, je návrh doporučení pro polní výrobu jen stěží interpretovatelný. Je však patrné, že nárůst výnosu způsobený účinkem použitých hnojiv byl srovnatelný (v průměru ± 2 %). Použité dávky hnojiv a jejich cena tak ve výsledku určí rentabilitu pěstování.

8 POUŽITÁ LITERATURA

- Agrokop Hb (2017): *Eurofertil* [online]. [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: <http://www.agrokop.com/produkty-2/hnojiva/eurofertil/>.
- Agropodnik a. s. Hradec Králové (2017): *Amofos dusíkato-fosforečné hnojivo* [online]. [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: <http://www.agropodnikhk.cz/amofos.html>.
- Ai, P., Sun, S., Zhao, J., Fan, X., Xin, W., Guo, Q., Yu, L., Shen, Q., Wu, P., Miller, Aj., Xu, G. (2009): *Two rice phosphate transporters, OsPht1;2 and OsPht1;6, have different functions and kinetic properties in uptake and translocation*. *Plant J* 57: 798–809.
- Bednar Farm Machinery: *Hodnocení ječmene po hloubkovém zpracování* [online]. [cit. 2017-01-27]. Dostupné z: <http://www.bednar-machinery.com/cz/aktuality/detail/2455/hodnoceni-porostu-jecmenu-po-hloubkovem-zpracovani-terralandem>.
- Benko, V. (1961): *Dynamika fosforu vo vzťahu k pôde a k rastline*, Kandidátská dizertačná práca, AF VŠP Nitra.
- Bennett, E. M., Carpenter, S. R., Caraco, N. F. (2001): *Human Impact on Erodable Phosphorus and Eutrophication: A Global Perspective*. *Bioscience* 51: 227-234.
- BPEJ (2017): *eKatalog* [online]. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://bpej.vumop.cz/25600>.
- Brady, N. C. (1990): *The Nature and Properties of Soils*, 10. vydání, John Wiley & Sons, New York.
- Brady, N. C., Weil, R. R. (2002): *The Nature and Properties of Soils*, thirteenth edition. Pearson Education Ltd. New Jersey, 960 pp.
- Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Rengel, Z., Zhao, F. (2012): *Function of Nutrients: Micronutrients*. In: Marschner, P. (Ed.) *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (Third Edition)*, Academic Press, 191-248.
- Černý, L., Vašák, J., Křováček, J., Hájek, M. (2007): *Jarní sladovnický ječmen: pěstitelský rádce*. Praha: Pro katedru rostlinné výroby, FAPPZ, ČZU v Praze vydalo vydavatelství Kurent, 2007. ISBN 978-80-87111-04-8.
- Český Statistický Úřad (2016): *Soupis ploch osevů - k 31. květnu 2016* [online]. [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/soupis-ploch-osevu-k-31-kvetnu-2016>.

- Český Statistický Úřad (2017): *Spotřeba hnojiv za hospodářský rok*: [online]. [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystup-objekt&z=T&f=TABULKA&filtr=G~F_M~F_Z~F_R~F_P~_S~_U~301_null_&katalog=30840&pvo=ZEM11&str=v49&evo=v240_!_ZEM11-2014-2015_1#w=.
- Dejene, K. M., Fetien A., A. (2014): *Growth and yield of barley (Hordeum vulgare L.) as affected by nitrogen and phosphorus fertilization and water regimes in Tigray, Ethiopia*, Momona Ethiopian Journal of Science (MEJS), V6(1):45-57, 2014 CNCS, Mekelle University, ISSN:2220-1848.
- Dobermann, A., Fairhurst, T. (2000): *Rice: Nutrient disorders & nutrient management*. Handbook series. Potash & Phosphate Institute (PPI), Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC) and International Rice Research Institute. 191 p.
- Fecenko, J., Ložek, O. (2000): *Výživa a hnojení polních plodin*, Slovenská poľnohospodárska univerzita, Nitra, 452 s. ISBN 80-7137-777-5.
- Froelich, P. N. (1988): *Kinetic control of dissolved phosphate in natural rivers and estuaries: A primer on the phosphate buffer mechanism*. Limnol. Oceanogr. 33: 649-668.
- Hadjichristodoulou, A. (1982): *The effects of annual precipitation and its distribution on grain yield of dryland cereals*. *The Journal of Agricultural Science*, 99, s. 261-270. DOI:10.1017/S002185960003001X.
- Halavatau, S., Asher, C. J., Bell, L. C. (1996): Soil fertility and sweet potato research in Tonga - Nitrogen and Phosphorus. In: Craswell, E.T. Asher, C.J. and O'Sullivan, J.N. (eds.) ACIAR Proceedings No.65: Mineral nutrient disorders of root crops in the Pacific. pp 58-64.
- Hansen, J. C., Cade-Menun, B. J., Strawn, D. G. (2004): *Phosphorus speciation in manure-amended alkaline soils*. J Environ Qual 33: 1521–1527.
- Harrison, A. F. (1987): *Soil Organic Phosphorus – A Review of World Literature*, CAB Intl, Wallingford, Oxon, U.K., p 257.
- Holford, I. C. R. (1997): *Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants*. Aust J Soil Res 35:227–239.
- Horáková, V., Dvořáčková, O. (2016): *Seznam doporučených odrůd 2016*. UKZUZ Brnom, ISBN 978-80-7401-125-2.

- Hrubý, J., Procházková, B., Hledík, P. (2006): *Zpracování půdy a setí jarního ječmene*, Úroda, 2, s. 14-15.
- Hřivna, L. (2010): *Vliv tuhých průmyslových hnojiv obsahujících fosfor na výnos zrna ječmene a jeho kvalitu in "Sladovnický ječmen - přiměřená ekonomika, vysoký výnos a kvalita zrna": nový výzkum a komplexní poznatky pro uplatnění v praxi: konference : 8.-11.2.2010 (Libčany 8.2.2010, Praha-Suchdol 9.2.2010, Mendelu v Brně 10.2.2010, Vsisko 11.2.2010)*. Velká Bystřice: Sdružení pro ječmen a slad, 2010. ISBN 9788021320475.
- Hůla, J., Procházková, B., Badalíková, B., Dovrtěl, J., Dryšlová, T., Hartman, I., Hrubý, J., Hrudová, E., Javůrek, M., Kasal, P., Klem, K., Kovaříček, P., Kroulík, M., Kumhála, F., Mašek, J., Neudert, L., Růžek, P., Smutný, V., Váňová, M., Winkler, J. (2008): *Minimalizace zpracování půdy*. 1. Praha: Profi Press, s.r.o., p. 7. ISBN 978-80-8672628-1.
- Johnes, P. J., Hodgkinson, R. A. (1998): *Phosphorus loss from agricultural catchments: pathways and implications for management*. *Global Change Biology*, 11 (1), 154 – 166.
- Katedra Rostlinné Výroby, FAPPZ ČZU V Praze (2017): *Ječmen setý víceřadý (šestiřadý)*, [online]. [cit. 2017-01-26]. Dostupné z: http://krv.agrobiologie.cz/atlas/katalog/plodiny/detail/?plodina_id=3&ref=%2Fatlas%2Fkatalog%2Fplodiny.
- Klem, K. (2011): *Využití diagnostických metod pro rozhodovací procesy v pěstební technologii jarního ječmene: (metodika pro zemědělskou praxi)*. Kroměříž: Agrotest fyto. ISBN 978-80-904594-0-3.
- Klement, V., Smatanová, M. A Trávník, K. (2012): *Padesát let agrochemického zkoušení zemědělských půd v České republice: Čtyřicet let dlouhodobých výživářských pokusů v ÚKZÚZ*, Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, ISBN 978-80-7401-062-0.
- Klír, J., Kunzová E., A Čermák P. (2008): *Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení*. 2., aktualiz. vyd. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, ISBN 978-80-87011-61-4.
- Kunzová, E. (2009): *Výživa rostlin a hnojení fosforem*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby. ISBN 978-80-7427-015-4.

- Kůst, F., Potměšilová, J. (2015): MZE. *Situační a výhledová zpráva obiloviny*: Prosinec. 1. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2016. ISBN 978-80-7434-225-7, ISSN 1211-7692. Dostupné také z: http://eagri.cz/public/web/file/445783/SVZ_Obiloviny_12_2015.pdf.
- Matula, J. (1977): *Výživa rostlin*. MZVŽ ČSR Praha, 181 p.
- Mazza, L. M., Motta, A. C. V., Moraes, A. M., Vezzani, F. M., Adami, P. F., Rabel, D. O. (2012): *Forage yield and quality on soil subjected to phosphorus rates in subtropical grassland of Brazil*. R. Bras. Zootec., v.41, n.5, p. 1100–1109. ISSN 1806–9290.
- Mesfin, K., Zemach. S. (2015): *Effect of Nitrogen and Phosphorus Fertilizer Rates on Yield and Yield Components of Barley (Hordeum Vugarae L.) Varieties at Damot Gale District, Wolaita Zone, Ethiopia*. American Journal of Agriculture and Forestry. Vol. 3, No. 6, pp. 271-275. doi: 10.11648/j.ajaf.20150306.15.
- Míka, V., Kohoutek, A., Nerušil, P. (2008): *Spektroskopie v blízké infračervené oblasti (NIR): výběr praktických aplikací v zemědělství*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby. ISBN 978-80-87011-53-9.
- Mikanová, O., Šimon, T. (2011): *Alternativní výživa rostlin fosforem, metodika*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i., 2011. ISBN 978-80-7427-080-2.
- MZP (2015): *Statistická Ročenka Životního Prostředí České republiky* [online<http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/statis>], [cit. 2017-04-04]. ISBN 978-80-87770-27-6. Dostupné z: www.mzp.cz.
- Obec Dolní Dubňany (2017): [online]. [cit. 2017-02-28]. Dostupné z: <http://www.dolnidubnany.cz/>.
- Ottman, M., J. (2011): *Response of Wheat and Barley Varieties to Phosphorus Fertilizer*. Forage & Grain Report, College of Agriculture and Life Sciences, University of Arizona.
- Prasad, R., Power, J. F. (1997): *Soil fertility management for sustainable agriculture*, CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, 356 s., ISBN: 1-56670-254-2.
- Procházková, B. (2011): *Význam a možnosti optimalizace struktury a střídání plodin v systémech hospodaření na půdě: uplatněná certifikovaná metodika*. V Brně: Mendelova univerzita. ISBN 978-80-7375-525-6.

- Prokeš, K. (2008): *Výživa kukuřice v podmínkách bramborářské výrobní oblasti*. Doktorská disertační práce, MZLU v Brně, 170 s.
- Příkopa, M. (2005): *Ječmen jarní* [online]. MZLU Brno, [cit. 2017-02-08]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/hnojeni_plodin/html/obilniny/jecmen_jarni.htm#hnojeni_fosforem.
- Psota, V., Kosař, K. (2002): Ukazatel sladovnické jakosti. *Kvasny Prum.* 6, p 142–148.
- Purves, W., Sadava E., Orians. H., Heller, H. (2004): *Life: The Science of Biology*. 7. vyd. Sunderland: Sinauer Associates. 1121 s. ISBN 0-7167-9856-5.
- Richardson, A. E. (1994): *Soil microorganisms and phosphorus availability*. *Soil Biota* 50–62.
- Richardson, S. J., Peltzer, D. A., Allen, R. B., Mcglone M. S., Parfitt, R. L. (2004): *Rapid development of phosphorus limitation in temperate rainforest along the Franz Josef soil chronosequence*. *Oecologia* 139:267-276.
- Richter, R., Hlušek, J. (1999): *Výživa a hnojení rostlin*. Brno. ISBN 80-7157-138-5.
- Richter, R., Ryant, P. (2002): *Výživa a hnojení obilnin.*, [online]. MZLU Brno, [cit. 2017-02-08]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/hnojeni_plodin/html/obilniny/a_index_obilniny.htm.
- Richter, R., Škarpa, P. (2013): *Mimokořenová výživa u polních plodin*. *Úroda* LXI, č. 3: 67-68.
- Rychnovská, M., Balátová-Tuláčková, E., Úlehlová, B., Pelikán, J. (1985): *Ekologie lučních porostů*, Academia, Praha.
- Řepková, J., Relichová, J. (2001): *Genetika rostlin*. 1. vyd. Masarykova univerzita v Brně, 269 s. ISBN 80-210-2736-3.
- Sanchez, Ch., A. (2007): *Phosphorus in BARKER, A. V., PILBEAN, D. J. (2007): Handbook of Plant Nutrition*, Taylor & Francis Group, New York, ISBN 978-0-8247-5904-9.
- Sharpley, A. N. (1995): *Soil phosphorus dynamics: agronomic and environmental impacts*. *Ecological Engineering* 5: 261-279.

- Smatanová, M., Sušil, A. (2016): *Výsledky agrochemického zkoušení zemědělských půd Sekce zemědělských vstupů*. 2016. ISBN 978-80-7401-131-3.
- Stevenson, F. J. (1986): *Cycles of Soil Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients*. A Wiley-Interscience Publication, 380pp.
- Steward, J. W. B., Sharpley, A. N. (1987): *Controls of dynamics of soil and fertilizer phosphorus and sulphur*. In: Follet R. F., Steward J. W. B. et Cole C. V. (eds). *Soil Fertility and Organic Matter as Critical Components of Production*. SSSA Spec. Pub. 19. Am. Soc. Agron., Madison, WI. Cit. in Sharpley (1995).
- Šimek, M. (2003): *Základy nauky o půdě, 3. Biologické procesy a cykly prvků*, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.
- Timac Agro (2017): *Eurofertil 35* [online]. [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: <https://timacagro.pl/produkty/eurofertil-top-35-np/>.
- Timac Agro (2017): *Hnojiva duofertil* [online]. [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: http://www.cz.timacagro.com/fileadmin/contributions/produkty/16_sortiment_web.pdf.
- Trčková, M., Jandová, G. (2003): *Fyziologické aspekty listové výživy*. In: *Výživa rostlin v trvale udržitelném zemědělství*. MZLU Brno, 160–163.
- Vaněk, V., Balík, J., Pavlíková, D., Tlustoš, P. (2007) *Výživa polních a zahradních plodin*. Praha: Profi Press, Praha. 167s. ISBN 978-80-86726-25-0.
- Veřejný registr půdy (2017): [online]. [cit. 2017-02-28]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/app/lpisext/lpis/verejny2/plpis/>.
- Warrick B, E. (2011): *Soil, Crop and More Information*. Texas. Dostupné také z: <http://soilcropandmore.info/crops/Grasses/Barley/Barley-Hordeum-vulgare.htm>.
- Yara (2017): *Increasing Barley Yield* [online]. [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.yara.co.uk/crop-nutrition/crops/barley/yield/>.
- Yara (2017): *Phosphorus Deficiency - Barley* [online]. [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.yara.co.uk/cropnutrition/crops/barley/cropnutrition/deficiencies/p/13448-phosphorus-deficiencybarley/>.

- Yara (2017): *Using Optimal Rates and Timing of Nutrients in Barley* [online]. [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.yaracanada.ca/en/crop-nutrition/crops/barley/yield/using-optimal-rates-and-timing-of-nutrients/>.
- Zbiral, J. (2005): *Analýza rostlinného materiálu: jednotné pracovní postupy*. Vyd. 2., rozš. a přeprac. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 2005. ISBN 80-86548-73-2.
- Zbiral, J., Čižmarová, E., Obdržálková, E., Rychlý, M., Vilamová, V., Srnková, J. a Žalmanová, A. (2016) *Analýza půd I: jednotné pracovní postupy*. Čtvrté vydání. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. ISBN 978-80-7401-123-8.
- Zhang, D., Moran, R. E., Stack, L. B. (2004): *Effect of Phosphorus Fertilization on Growth and Flowering of Scaevola aemula R. Br. 'New Wonder'* HortScience 39(7): 1728–1731.
- Zhor, R. (2015): *Dynamics of malting barley trading*. Geneva, University of Geneva, fakulty of economic and social sciences.
- Zimolka, J. (2006): *Ječmen – Formy a užitkové směry v ČR*. Profi Press, s. r. o., Praha, s 200. ISBN 80-86726-18-5.

9 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Rozbory půd před setím (Mehlich III)	31
Tab. 2 Schéma hnojení pokusu	31
Tab. 3 Obsah fosforu v rostlinách ječmene (% abs. suš)	41
Tab. 4 Hmotnost rostlin ječmene (g.rostlina^{-1}).....	42
Tab. 5 Obsah přístupného P podle Mehlich III	45
Tab. 6 Obsah přístupného P podle Egner	46
Tab. 7 Výnos ječmene g.nádoba^{-1} na kyselé půdě.....	46
Tab. 8 Výnos ječmene g.nádoba^{-1} na neutrální půdě.....	47
Tab. 9 Výnos ječmene g.nádoba^{-1} na alkalické půdě.....	47
Tab. 10 Procentický obsah fosforu, škrobu a dusíkatých látek v zrně ječmene pěstovaného na kyselé půdě.....	48
Tab. 11 Procentický obsah fosforu, škrobu a dusíkatých látek v zrně ječmene pěstovaného na neutrální půdě.....	48
Tab. 12 Obsah fosforu, škrobu a dusíkatých látek v zrně ječmene pěstovaného na alkalické půdě	49

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Ječmen jarní (<i>Hordeum vulgare</i>) (Warrick, 2011).....	10
Obr. 2, Obr. 3 Zleva klas ječmene dvouřadého, zprava klas ječmene víceřadého (Katedra rostlinné výroby, 2017)	13
Obr. 4 Oblasti v ČR vhodné k pěstování sladovnického Ječmene jarního (Zimolka, 2006)	14
Obr. 5 Založení ječmene na utužené půdě (Bednar farm machinery, 2017).....	15
Obr. 6 Založení ječmene na neutužené půdě (Bednar farm machinery, 2017)	15
Obr. 7 Půdní cyklus fosforu rozdělený podle jednotlivých přeměn (Steward, Shapley, 1987).....	20
Obr. 8 Vliv půdního pH na míru retence P v Fe, Al a Ca fosforečnanech (Yara, 2017)	21
Obr. 9 Symptomy nedostatku fosforu u ječmene (Yara, 2017).....	24
Obr. 10 Přístupný fosfor podle Mehlich III, mg.kg^{-1} (ÚKZÚZ, 2014).....	26
Obr. 11 Trojitý superfosfát granulovaný.....	32
Obr. 12 Amofos NP 12-52	33

Obr. 13 Eurofertil TOP 35 NP	33
Obr. 14 Duofertil TOP 38 NP.....	34
Obr. 15 Vzešlý porost se závlahovým systémem	35
Obr. 16 Porost v termínu 14. 5. 2016.....	35
Obr. 17 Porost v termínu sklizně	36
Obr. 18 Laboratorní mlátička a čistička semen Haldrup LT-20.....	37

11 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Výnos a osetá plocha ječmene jarním 2010 – 2016 (ČSU, 2017).....	11
Graf 2 Vývoj obsahu fosforu v období 1990 – 2010 (Klement et al., 2012)	25
Graf 3 Spotřeba minerálních (suma N, P ₂ O ₅ a K ₂ O) a fosforečných (P ₂ O ₅) hnojiv 2004 – 2015 (ČSU, 2017)	25
Graf 4 Dynamika odběru fosforu rostlinou ječmene během vegetace (Yara, 2017)	27
Graf 5 Odběr fosforu (mg P.rostlina ⁻¹) rostlinou ječmene pěstovaného na kyselé půdě	39
Graf 6 Odběr fosforu (mg P.rostlina ⁻¹) rostlinou ječmene pěstovaného na neutrální půdě	40
Graf 7 Odběr fosforu (mg P.rostlina ⁻¹) rostlinou ječmene pěstovaného na alkalické půdě	40
Graf 8 Obsah P (mg.kg ⁻¹) ve výluhu CaCl ₂ na kyselé půdě	43
Graf 9 Obsah P (mg.kg ⁻¹) ve výluhu CaCl ₂ na neutrální půdě	43
Graf 10 Obsah P (mg.kg ⁻¹) ve výluhu CaCl ₂ na alkalické půdě	44
Graf 11 Korelace obsahu vodorozpuštěného fosforu v půdě s obsahem v rostlině ve fázi 3. listu	44
Graf 12 Korelace obsahu vodorozpuštěného fosforu v půdě s obsahem v rostlině ve fázi 3. kolénka	44